



TUGAS AKHIR - RE 184804

KULIT KERANG SEBAGAI MEDIA ALTERNATIF FILTER ANAEROBIK UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH DOMESTIK

RISMA AULIA ROKHMADHONI
03211440000085

Dosen Pembimbing
Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184804

**KULIT KERANG SEBAGAI MEDIA ALTERNATIF FILTER
ANAEROBIK UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH
DOMESTIK**

RISMA AULIA ROKHMADHONI
03211440000085

Dosen Pembimbing
Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - RE 184804

**CLAMSHELL AS ALTERNATIVE MEDIA OF ANAEROBIC FILTER FOR
GRAY WATER TREATMENT**

RISMA AULIA ROKHMADHONI
03211440000085

Supervisor
Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

KULIT KERANG SEBAGAI MEDIA ALTERNATIF FILTER ANAEROBIK UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH DOMESTIK

TUGAS AKHIR

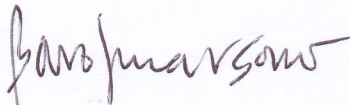
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

RISMA AULIA ROKHMADHONI

NRP. 03211440000085

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:



Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng

NIP. 19650317 199102 1 001



KULIT KERANG SEBAGAI MEDIA ALTERNATIF FILTER ANAEROBIK UNTUK MENGOLAH AIR LIMBAH DOMESTIK

Nama Mahasiswa : Risma Aulia Rokhmadhoni
NRP : 03211440000085
Jurusan : Departemen Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

ABSTRAK

Limbah kulit kerang yang berada di pesisir Pantai Kejeran telah menjadi masalah ibu kota Surabaya. Lebih dari 3 ton limbah kulit kerang setiap minggunya dihasilkan dan dibuang di pinggir Pantai Kenjeran. Kulit kerang tersusun atas senyawa kalsium karbonat (CaCO_3) sehingga kulit kerang dapat dimanfaatkan sebagai media pada *anaerobic filter*. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan reaktor yang telah direncanakan. Penelitian ini menggunakan sistem kontinyu dengan aliran *upflow*. Variasi penelitian yang digunakan adalah variasi waktu detensi (*Empty Bed Contact Time*) dan variasi ketebalan media yang digunakan. Variasi waktu detensi yang digunakan adalah 24; 30 dan 36 jam. Sedangkan variasi ketebalan media yang digunakan adalah tebal media 55 ; 80 dan 122 cm. Penelitian dilakukan dengan mulainya proses *seeding* dan aklimatisasi yang berlangsung selama 10 hari hingga kondisi reaktor berada dalam kondisi *steady state*. Penelitian utama dilakukan selama 7 hari dengan menguji parameter COD, TSS dan BOD. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai removal untuk parameter COD dan BOD tertinggi adalah 80,6 dan 89,91 persen pada tebal media 122 cm dan HRT 36 jam. Sedangkan untuk parameter TSS, didapatkan hasil removal terbaik pada tebal media 80 cm dan HRT 24 jam dengan removal 91,76 persen.

Kata Kunci: Anaerobic Filter, Grey Water , Ketebalan media, Limbah kulit kerang, Waktu detensi, Zat Organik

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

CLAMSHELL AS ALTERNATIVE MEDIA OF ANAEROBIC FILTER FOR GRAY WATER TREATMENT

Name of Student : Risma Aulia Rokhmadhoni
NRP : 03211440000085
Department : Department Teknik Lingkungan
Supervisor : Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

ABSTRACT

The clamshell waste on the coast of Kejeran Beach has become a problem for the capital city of Surabaya. More than 3 tons of clamshell waste is produced every week and is disposed on Kenjeran Beach. Clamshells are composed of calcium carbonate (CaCO_3) compounds. According to that, clamshells can be used as a medium on anaerobic filters. The research was carried out on a laboratory scale using a planned reactor. This study uses a continuous system with upflow. Variations in the research used are variations in detention time (empty bed contact time) and variations in the thickness of the media. The detention time variation used is 24; 30 and 36 hours. Whereas the thickness of the media used is media thickness 55; 80 and 122 cm. The research was carried out by the seeding and acclimatization process which lasted for 10 days until the reactor conditions were in steady state. The main study was carried out for 7 days by testing the parameters COD, TSS and BOD. Based on the results of the study, the highest removal values for the COD and BOD parameters were 80,6 and 89,91 percent in 122 cm media thickness and 36 hours HRT. While for TSS parameters, the best removal results obtained on 80 cm media thickness and 24 hour HRT

Keywords: Anaerobic Filter, Clamshell Waste, Detention time, Grey Water, Organic Substrate, Thickness of the media

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Assalamua'laikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat, ridho, dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan sebagian laporan tugas akhir yang berjudul “Kulit Kerang Sebagai Media Alternatif Filter Anaerobik Untuk Mengolah Air Limbah Domestik”. Penulis menyampaikan terima kasih dan rasa hormat atas segala bantuan yang telah diberikan kepada :

1. Bapak dan Ibu serta kakak-kakak yang terus memberi dukungan secara moral dan finansial dan tidak pernah berhenti mendukung penulis bahkan dalam keadaan sulit.
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir dan dosen wali yang telah memberi ilmu, masukan, dan pengarahan selama proses pembimbingan.
3. Bapak pengurus Rusunawa Penjaringan Sari II yang telah mengizinkan penulis untuk mengambil sampel dan membantu kelancaran hingga tugas akhir ini selesai
4. Pak Hadi, Pak De, Pak Edi, serta laboran yang membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian
5. Teman-teman angkatan 2014 yang telah membantu dalam persiapan dan pelaksanaan tugas akhir ini khususnya Putri, Rani, Arina, dan lain-lain yang selalu memberikan semangat dan bantuannya hingga tugas akhir ini selesai
6. Prisna, Aulia dan lin yang selalu menjadi penghibur disela-sela pengerjaan tugas akhir ini dan selalu memberika kata semangat dan dorongan agar tugas akhir ini selesai

Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan Tugas Akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Wassalamua'laikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Surabaya, Januari 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1 Rumusan Masalah	2
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air Limbah Domestik	5
2.2 Pengolahan Limbah Secara Biologis	7
2.3 Mekanisme Pengolahan Anaerobik	9
2.3.1 Mekanisme Pada Biofilter	10
2.3.2 Bakteri dalam Pengolahan Anaerobik	12
2.4 <i>Anaerobic Filter</i>	14
2.5 Kriteria Media <i>Anaerobic Filter</i>	18
2.6 Kelebihan dan Kekurangan <i>Anaerobic Filter</i>	21
2.7 Limbah Kulit Kerang	21
2.8 Penelitian Terdahulu	22
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Kerangka Penelitian	25
3.2 Pengambilan Sampel	25
3.3 Penelitian Pendahuluan	25

3.4	Persiapan Alat dan Bahan	28
3.5	Pembuatan Reaktor	29
3.6	Seeding dan Aklimatisasi	31
3.7	Pelaksanaan Penelitian	31
3.8	Metode Analisis Sampel dan Data	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Karakteristik Air Limbah	35
4.2	Karakteristik Media Kerang	36
4.2.1	Ukuran Media	36
4.2.2	Fraksi Volume Rongga Media	38
4.2.3	Densitas media	39
4.2.4	Luas Permukaan Spesifik Media	40
4.2.5	Salinitas media	41
4.3	Proses Seeding dan Aklimatisasi	42
4.4	Kinerja Media Kulit Kerang	45
4.5	Pengaruh Ketebalan Media Pada <i>Anaerobic Filter</i>	50
4.4.1	Pengaruh Pada Nilai COD	51
4.4.2	Pengaruh Pada Nilai TSS	55
4.4.3	Pengaruh Pada Nilai BOD	58
4.6	Pengaruh Waktu Detensi Pada <i>Anaerobic Filter</i>	62
4.6.1	Pengaruh Pada Nilai COD	62
4.6.2	Pengaruh Pada Nilai TSS	63
4.6.3	Pengaruh Pada Nilai BOD	64
4.7	Produksi Gas Metan	65
4.8	Uji Statistik	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		67
5.1	Kesimpulan	67

5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	
BIOGRAFI PENULIS	

“Halaman ini sengaja dikosngkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Fermentasi dalam Kondisi Anaerob..	9
Gambar 2.2	Potongan Melintang Lapisan Biofilm.....	11
Gambar 2.3	<i>Anaerobic Filter dengan Sistem Up-flow</i>	15
Gambar 3.1	Sketsa Reaktor <i>Anaerobic Filter</i> dengan Media 122 cm dan HRT 36 Jam.....	30
Gambar 4.1	Ukuran Media Kulit Kerang.....	38
Gambar 4.2	Removal COD Seeding dan Aklimatisasi	43
Gambar 4.3	Nilai pH Proses Seeding dan Aklimatisasi....	44
Gambar 4.4	Nilai TSS Pada Waktu Detensi 36 Jam dan Media 122 cm.....	46
Gambar 4.5	Nilai COD Pada Waktu Detensi 36 Jam dan Media 122 cm.....	47
Gambar 4.6	Nilai BOD Pada Waktu Detensi 36 Jam dan Media 122 cm.....	47
Gambar 4.7	Removal Pada Waktu Detensi 36 Jam dan Media 122 cm.....	49
Gambar 4.8	Nilai COD pada Waktu Detensi 24 Jam.....	51
Gambar 4.9	Nilai COD pada Waktu Detensi 30 Jam.....	52
Gambar 4.10	Nilai COD pada Waktu Detensi 36 Jam.....	52
Gambar 4.11	Removal COD Berdasarkan Ketebalan Media.....	53
Gambar 4.12	Nilai TSS pada Waktu Detensi 24 Jam.....	55
Gambar 4.13	Nilai TSS pada Waktu Detensi 30 Jam.....	56
Gambar 4.14	Nilai TSS pada Waktu Detensi 36 Jam.....	56
Gambar 4.15	Removal TSS Berdasarkan Ketebalan Media.....	57
Gambar 4.16	Nilai BOD pada Waktu Detensi 24 Jam.....	58
Gambar 4.17	Nilai BOD pada Waktu Detensi 30 Jam.....	59
Gambar 4.18	Nilai BOD pada Waktu Detensi 36 Jam.....	59
Gambar 4.19	Removal BOD Berdasarkan Ketebalan Media.....	60

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku Mutu Air Limbah Domestik.....	6
Tabel 2.2	Kriteria Desain <i>Upflow Anaerobic Filter</i>	20
Tabel 3.1	Ukuran Saringan pada Analisa Ayakan.....	26
Tabel 3.2	Variasi Penelitian.....	32
Tabel 3.3	Metode Analisis Sampel.....	33
Tabel 4.1	Karakteristik <i>Grey Water</i>	35
Tabel 4.2	Beban Organik <i>Grey Water</i> Berdasarkan Waktu Detensi dan Tinggi Medianya.....	36
Tabel 4.3	Hasil Ayakan Media Kulit Kerang.....	37
Tabel 4.4	Data Stok Media Kulit Kerang.....	37
Tabel 4.5	Fraksi Volume Rongga Media Kulit Kerang.....	39
Tabel 4.6	Densitas Media Kulit Kerang.....	40
Tabel 4.7	Nilai Removal COD Pada Setiap Variabel Media.....	53
Tabel 4.8	Nilai Removal COD Pada Setiap Variabel Media.....	57
Tabel 4.9	Nilai Removal COD Pada Setiap Variabel Media.....	60
Tabel 4.10	Perhitungan Produksi Gas dalam L/hari.....	65

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DATA HASIL PENELITIAN.....	73
LAMPIRAN B DOKUMENTASI TUGAS AKHIR.....	87
LAMPIRAN C PERHITUNGAN KETEBALAN MEDIA	89
LAMPIRAN D PERHITUNGAN HLR DAN HEADLOSS.....	91
LAMPIRAN E ANALISIS STATISTIK	95
LAMPIRAN F METODE ANALISIS PARAMETER UJI	101

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mayoritas penduduk pesisir Kenjeran bekerja sebagai nelayan. Kegiatan para nelayan terbagi menjadi dua, ada yang mencari ikan dan ada yang mencari kerang. Hasil tangkapan kerang ini diambil bagian dagingnya dan kulitnya dibuang begitu saja (Kurniasih, Rahmat, Handoko, & Arfianto, 2017). Limbah kulit kerang yang dihasilkan dibuang ke pesisir Kenjeran dan menyebabkan masalah lingkungan yang serius. Limbah kulit kerang ini tidak dapat dibuang menuju TPA Benowo sehingga terjadi penumpukan kulit kerang dipesisir Kejeran (Effendi, 2016).

Berdasarkan laporan dinas kebersihan dan pertamanan, limbah kulit kerang yang dihasilkan di pesisir Kenjeran ini mencapai 3 ton setiap minggunya (Faizal, 2017). Limbah kulit kerang ini telah dimanfaatkan sebagai bahan kerajinan dan bahan pembuatan paving namun belum dapat mengurangi jumlah limbah kulit kerang secara signifikan. Selain berdampak negatif pada kesehatan masyarakat, tumpukan limbah kulit kerang ini juga berdampak negatif pada estetika lingkungan tersebut. Terlebih daerah pesisir Kenjeran akan dijadikan sebagai daerah wisata Kota Surabaya (Kurniasih et al., 2017).

Salah satu kelemahan dari *anaerobic filter* adalah biaya media *anaerobic filter* yang mahal (Malina dan Pohland, 1992). Banyaknya lapisan biofilm yang terlekat pada media ditentukan berdasarkan luas permukaan spesifik media. Semakin kecil luas permukaan spesifik media maka semakin banyak media yang diperlukan untuk pengolahan *anaerobic filter*. Limbah kulit kerang yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi dapat dimanfaatkan sebagai alternatif media untuk pengolahan limbah domestik menggunakan *anaerobic filter*. Air limbah domestik merupakan air limbah dari kegiatan rumah tangga yang berasal dari kegiatan MCK (mandi, cuci, kakus).

Proses pengolahan limbah domestik dapat dilakukan dengan beberapa cara secara fisik, kimia maupun biologis. Pengolahan secara biologis merupakan alternatif dalam pengolahan limbah sisa aktivitas kegiatan manusia dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme (Indriyati, 2011). Pengolahan biologis sendiri dapat dilakukan dengan oksigen

(aerobik) atau tanpa oksigen (anaerobik). Proses aerobik dalam pengolahan *grey water* menggunakan oksigen dalam proses degradasi bahan organik, sedangkan secara anaerob tidak memerlukan oksigen dalam pendegradasian bahan organik (Kurniasih et al., 2017). Metode pengolahan limbah domestik yang dapat dipertimbangkan yaitu menggunakan proses anaerobik. Proses anaerobik tidak membutuhkan energi dalam pengoperasiannya dan membutuhkan lahan yang sedikit (Ladu dan Lu, 2014). Salah satu pengolahan limbah secara anaerobic yang dapat diaplikasikan adalah *anaerobic filter*.

Anaerobic filter adalah alternatif pengolahan limbah *grey water* menggunakan media terlekat pada biofilter. Pengolahan *anerobic filter* ditandai dengan tumbuhnya biofilm yang menempel pada biofilter. Jenis media yang digunakan sebagai tempat melekatnya biofilm menjadi salah satu faktor penentu dalam proses pengolahan *anaerobic filter*. Mikroorganisme dalam *anaerobic filter* menggunakan bahan organik dalam air limbah sebagai sumber untuk melakukan proses metabolisme sehingga menghasilkan perumbuhan biomassa yang optimum. Pertumbuhan biomassa dalam *anaerobic filter* akan menghasilkan penebalan biofilm pada biofilter dan mampu mengurangi konsentrasi bahan organik dalam limbah (Amri dan Wesen, 2015).

1.1 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana kemampuan limbah kulit kerang sebagai media *anaerobic filter* dalam menurunkan konsentrasi organik pada *grey water*?
2. Bagaimana pengaruh tinggi media *anaerobic filter* dalam mengolah *grey water* dalam *anaerobic filter*?
3. Bagaimana pengaruh waktu tinggal hidrolis (*empty bed contact time*) pada *anaerobic filter* dalam mengolah *grey water*?

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kemampuan limbah kulit kerang sebagai media *anaerobic filter* dalam menurunkan konsentrasi organik pada *grey water*.
2. Mengetahui pengaruh ketebalan media *anaerobic filter* dalam mengolah *grey water* dalam *anaerobic filter*.
3. Mengetahui pengaruh waktu tinggal hidrolis (*empty bed contact time*) dalam mengolah *grey water* dalam *anaerobic filter*.

1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Media *anaerobic filter* menggunakan limbah kulit kerang yang berasal dari pesisir Pantai Kenjeran.
2. Sampel limbah domestik berasal dari RUSUNAWA Penjaringan Sari 2 Blok E, Kecamatan Rungkut, Surabaya.
3. Sumber mikroorganisme berasal dari EM4 untuk Air Limbah.
4. Variabel yang pilih adalah Variasi ketebalan media dan *Hydraulic Retention Time* (HRT).
5. Reaktor dioperasikan menggunakan aliran kontinu dan aliran *upflow*.
6. Parameter yang diuji adalah TSS, BOD dan COD.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Memberikan pengetahuan mengenai limbah kulit kerang sebagai alternatif media yang dapat digunakan dalam proses *anaerobic filter* serta kemampuannya dalam menurunkan kandungan organik dalam air limbah.
2. Menambah nilai manfaat limbah kulit kerang yang ada di Pesisir Pantai Kenjeran untuk sebagai media *anaerobic filter*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Domestik

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Air limbah domestik merupakan buangan cair yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga berupa mandi, cuci, dan kakus (MCK). Aktivitas mandi dan cuci menghasilkan air bekas cucian (*grey water*) dan kegiatan kakus menghasilkan tinja (*black water*) (Radityaningrum & Kusuma, 2017). *Grey water* dinilai sebagai air limbah yang kadar pencemarannya ringan dibandingkan dengan air limbah yang berasal dari kegiatan industri. Air limbah sendiri terdiri dari 99,7% air dan 0,3% bahan lain, seperti bahan padat, koloid dan terlarut (Suoth & Nazir, 2016). Bahan padatan yang sebesar 0,3% tersebut terdiri atas bahan organik dan bahan anorganik. Bahan organik tersusun dari protein (65%), karbohidrat (25%) dan lemak (10%) (Tanjung, 1993 dalam Sasongko, 2006). Sedangkan padatan bahan anorganik terdiri dari grit, garam, amonia yang merupakan derivat dari nitrat (Suoth & Nazir, 2016).

Limbah cair domestik memiliki beberapa karakteristik yang dapat digolongkan menjadi karakteristik fisik, kimia dan biologi (Metcalf dan Eddy, 2003).

1. Karakteristik fisik

Air limbah domestik yang sudah terkumpul dan masih dalam keadaan baru dan dalam keadaan aerob berbau busuk, berwarna abu-abu kekuning-kuningan. Salah satu hal yang mempengaruhi karakteristik fisik adalah aktivitas penguraian bahan organik pada air limbah oleh mikroorganisme. Penguraian tersebut akan menyebabkan kekeruhan.

2. Karakteristik kimia

Komponen kimia yang terdapat pada limbah domestik ada yang larut dan ada pula yang tidak larut. Komponen yang menyusun limbah cair rumah tangga digolongkan dalam dua kelompok, yaitu zat organik dan zat anorganik.

3. Karakteristik biologi

Karakteristik biologi sangat dipengaruhi oleh jumlah mikroorganisme yang ada dalam limbah cair tersebut. Mikroorganisme yang ada dalam limbah cair seperti bakteri, virus, jamur, ganggang dan protozoa. Mikroorganisme tersebut berperan dalam proses pendegradasian zat-zat organik dalam air limbah.

Pada umumnya, air limbah *grey water* dibuang langsung ke selokan atau saluran drainase di depan rumah tanpa melalui peroses pengolahan terlebih dahulu. Akibatnya, sungai atau kali yang menjadi badan air penerimanya berpotensi tercemar; warnanya menjadi cokelat dan mengeluarkan bau busuk (Suoth & Nazir, 2016). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, setiap usaha dan/atau kegiatan yang menghasilkan air limbah domestik wajib melakukan pengolahan air limbah domestik yang dihasilkannya. Air hasil olahan pun harus sesuai dengan baku mutu yang dikeluarkan.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total coliform	Jumlah / 100 mL	3000

Sumber: PERMENLHK No.68 Tahun 2016

Kandungan organik dalam air limbah domestik sangat diperhatikan. Parameter untuk mendapatkan nilai kandungan zat organik dalam air limbah kebanyakan adalah *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). *Biological Oxygen Demand* adalah sebuah uji untuk mengukur jumlah oksigen yang digunakan oleh bakteri untuk mendegradasi zat organik dalam air limbah. Pada umumnya, kandungan BOD dalam air limbah domestik berada dalam rentang 75 – 150 mg/L (Benefield dan Randall, 1980). Sedangkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah sebuah uji yang menggunakan prinsip oksidasi dimana zat organik akan teroksidasi menjadi CO₂ dan

H₂O oleh agen pengoksidasi kuat dalam kondisi asam. Korelasi antara BOD dan COD adalah sebagian zat organik yang teroksidasi merupakan zat organik yang *biodegradable* atau dapat terdegradasi oleh bakteri. Semakin tinggi nilai rasio BOD/COD dalam air limbah maka air limbah semakin baik jika diolah melalui proses biologis.

2.2 Pengolahan Limbah Secara Biologis

Pengolahan limbah secara biologis dibagi menjadi 2 proses utama yaitu proses aerob dan anaerob. Pemilihan kedua proses tersebut didasarkan pada jumlah bahan organik terlarut dalam air limbah, antara lain:

1. Proses aerob

Pengolahan limbah cair secara aerob adalah memanfaatkan aktivitas mikroorganisme atau metabolisme sel untuk menurunkan atau menghilangkan substrat tertentu, terutama senyawa-senyawa organik *biodegradable* yang terdapat dalam limbah cair (Indriyati, 2011).

2. Proses anaerob

Proses pengolahan biologis secara anaerob merupakan proses biologis yang membutuhkan bakteri (mikroorganisme) anaerob yang tidak membutuhkan O₂ bebas. Proses anaerob pada dasarnya dipengaruhi oleh pH dan temperatur lingkungan. Pengolahan dengan proses anaerob dilakukan oleh dua kelompok mikroorganisme. Kelompok mikroorganisme pertama adalah kumpulan mikroorganisme fakultatif yang mengonversi zat organik menjadi asam lemak volatil, yang disebut sebagai pembentuk asam. Sedangkan kelompok mikroorganisme yang kedua adalah mikroorganisme yang menggunakan produk dari kelompok mikroorganisme yang pertama dan mengubahnya menjadi gas metan atau yang disebut sebagai pembentuk metan (Dahab, 1982).

Pada proses anaerob, penguraian senyawa organik berlangsung secara bertahap dan pada setiap tahapan terdapat aktivitas suatu jenis bakteri tertentu

yang dominan dan setiap jenis bakteri memiliki kondisi lingkungan optimum yang menjadi salah satu parameter penting (Indriyati, 2011). Sesuai dengan tahapan-tahapan tersebut, masing-masing proses yang terjadi dalam proses degradasi anaerobic adalah sebagai berikut:

a. Prose hidrolisis

Pada proses hidrolisis ini, aktivitas kelompok bakteri Saprofilik menguraikan bahan organik kompleks. Aktivitas terjadi karena bahan organik tidak larut seperti polisakarida, lemak, protein dan karbohidrat akan dikonsumsi bakteri Saprofilik, dimana enzim ekstraseluler akan mengubahnya menjadi bahan organik yang larut dalam air.

b. Proses asidogenesis

Pada proses ini, bahan organik terlarut akan diubah menjadi asam organik rantai pendek atau senyawa intermedia *volatile fatty acids* (VFA) seperti asam butirat, asam popionat, asam amino, asam asetat dan asam-asam lainnya oleh bakteri asidogenik.

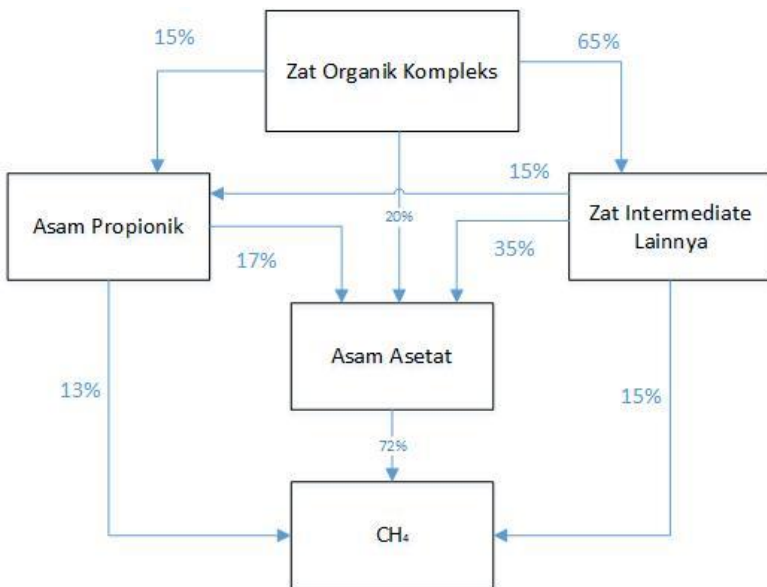
c. Proses Asetogenesis

Proses asetogenesis juga dikenal sebagai proses feremntasi lanjutan. Pada proses ini dihasilkan asam asetat melalui fermentasi hasil proses asidogenesis yaitu senyawa intermediat seperti butirat, propionat. Hasil akhir dari proses ini selain asetat adalah gas hidrogen dan karbondioksida. Produksi gas hirdrogen paling banyak dihasilkan pada proses oksidasi asam lemak rantai panjang dan senyawa intermediat VFA.

d. Proses metanogenesis

Proses metanogenesis adalah proses dimana bakteri metanogenik akan mengonversi asam organik volatil menjadi gas metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2).

Pengolahan secara anaerob telah banyak dilakukan dan telah dimulai sejak abad ke-19. Pengolahan secara anaerobik dianggap lebih stabil dan memiliki efisiensi yang tinggi. Pengolahan anaerobik yang banyak digunakan termasuk *Anaerobic Filter* (AF), *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) dan *fluidized bed reactor*.



Gambar 2. 1 Proses Fermentasi dalam Kondisi Anaerob

2.3 Mekanisme Pengolahan Anaerobik

Pengolahan anaerobik secara sederhana adalah pengolahan air limbah yang pada prosesnya tidak memerlukan transfer oksigen sama sekali. Hasil akhir dari fermentasi anaerobik adalah gas metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Pendegradasian senyawa organik secara anaerobik yang menghasilkan gas metan melalui proses biogenik kompleks. Proses ini melibatkan sejumlah mikroorganisme yang saling berhubungan akibat kebutuhan substrat dan spesifikasi

produknya masing-masing (Nurhayati, 2002). Terdapat mekanisme proses fisik, kimia dan biologi dalam pengolahan biofilter.

2.3.1 Mekanisme Pada Biofilter

Di dalam reaktor *anaerobic filter*, mikroorganisme tumbuh terlekat melapisi keseluruhan permukaan media dan pada saat beroperasi air mengalir melalui celah-celah media dan berhubungan langsung dengan lapisan massa mikroba (biofilm). Pada dasarnya sebagai biofilter, mekanisme fisik yang pasti terjadi adalah proses filtrasi. Proses filtrasi terjadi karena tumpukan media di dalam reaktor yang menyaring padatan organik dan anorganik di dalam air limbah. Sehingga penurunan zat organik juga dapat disebabkan oleh zat organik yang tersaring oleh media biofilter. Sedangkan pengolahan secara biologis disebabkan oleh lapisan biofilm yang menempel pada media menguraikan zat organik dalam air limbah sehingga kadar zat organik dalam air limbah menurun (RodiYanti, dkk., 2014)

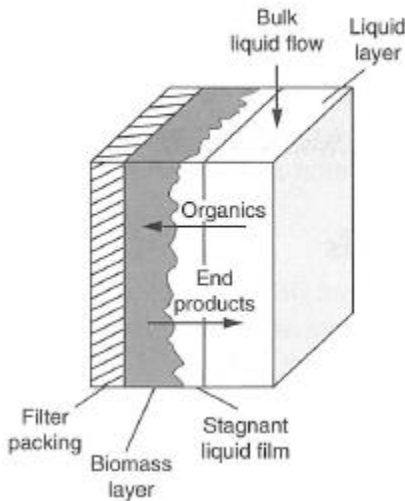
Menurut Herlambang dan Marsidi (2003), mekanisme perpindahan massa yang terjadi pada permukaan suatu media dinyatakan sebagai berikut:

- a. Difusi substansi air buangan dari cairan induk ke dalam massa mikroba yang melapisi media.
- b. Reaksi penguraian bahan organik maupun anorganik oleh mikroba.
- c. Difusi produk penguraian ke luar cairan induk limbah.

Sedangkan menurut Said dan Hartaja (2015) pada permukaan yang terpapar oleh suatu aliran fluida, pembentukan biofilm merupakan hasil dari proses fisis, kimiawi dan biologis, yaitu:

- a. Transportasi dan adsorpsi zat organik dan nutrient dari fasa liquid ke fasa biofilm
- b. Transportasi mikroorganisme dari fasa liquid ke fasa biofilm
- c. Adsorpsi mikroorganisme yang terjadi dalam lapisan biofilm
- d. Reaksi metabolisme mikroorganisme yang terjadi dalam lapisan biofilm, memungkinkan terjadinya mekanisme pertumbuhan, pemeliharaan kematian dan lisis sel

- e. *Attachment* dari sel, yaitu pada saat lapisan biofilm mulai terbentuk dan terakumulasi secara kontinu dan gradual pada lapisan biofilm
- f. Mekanisme pelepasan (*detachment biofilm*) dan produk lainnya (*by product*)



Gambar 2. 2 Potongan Melintang Lapisan Biofilm
(Sumber: Metcalf and Eddy, 2003)

Kecepatan pertumbuhan lapisan biofilm pada permukaan akan bertambah akibat perkembangbiakan dan adsorpsi yang terus berlanjut sehingga terjadi proses akumulasi lapisan biomassa yang terbentuk lapisan lender (*slime*). Pertumbuhan mikroorganisme akan terus berlangsung pada *slime* yang sudah terbentuk sehingga ketebalan *slime* bertambah (Titiresmi dan Sopiah, 2006). Ketebalan biofilm berada dalam rentang 100 μm hingga 10 mm. Lapisan cairan stagnan memisahkan biofilm dari aliran air yang melewati permukaan biofilm. Substrat dan nutrient berdifusi melalui lapisan stagnan menuju lapisan biofilm dan hasil biodegradasi dari biofilm masuk

kedalam cairan setelah berdifusi melalui lapisan stagnan (Metcalf dan Eddy, 2003)

Pada lapisan biologis yang tebal, substrat mungkin tidak akan mencapai zona yang lebih dalam sebab ketahanan dari transfer massa. Berdasarkan pada penurunan konsentrasi, bakteri dibagian dalam lapisan biologis mendapat konsentrasi substrat yang lebih rendah bila dibandingkan dengan bakteri yang terdapat pada permukaan. Ketahanan transfer massa dalam biofilm pembentuk metan tidak begitu berarti pada ketebalan lapisan dibawah 1 mm. Sehingga untuk meminimalkan difusi konsentrasi substrat yang rendah, ketebalan lapisan biologis sebaiknya tidak lebih dari 1 mm (Nurhayati, 200).

2.3.2 Bakteri dalam Pengolahan Anaerobik

Proses metabolisme bakteri anaerobik ini terbagi ke dalam tahap oksidasi anaerobik yaitu hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis. Bakteri yang terlibat pada proses anaerobik terbagi sesuai perannya dalam mendegradasi senyawa organik. Menurut Metcalf dan Eddy (2003) bakteri tersebut antara lain:

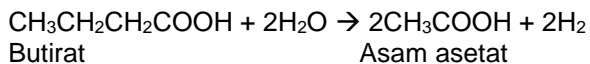
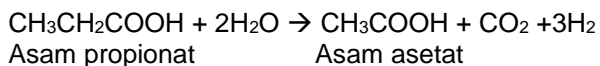
1. Bakteri Fermentatif

Bakteri fermentatif dijumpai pada tahap hidrolisis dan asidogenesis. Bakteri ini mensekresikan enzim yang berfungsi untuk mengonversi senyawa organik seperti glukosa dan asam amino menjadi senyawa *intermediate* VFA (*Volatile Fatty Acids*) seperti butirat, propionate, CO₂ dan H₂. Pada air limbah yang mengandung senyawa organik tinggi dan kompleks, proses berlangsung untuk menghidrolisis komponen organik kompleks seperti karbohidrat, lemak, selulosa dan lainnya menjadi senyawa organik yang lebih kecil dan sederhana seperti glukosa, asam amino, asetat dan lainnya terlebih dahulu kemudian dilanjutkan proses pengovenasian menjadi senyawa *intermediate*. Bakteri fermentatif pada umumnya adalah bakteri fakultatif dan obligat-anaerob. Spesies bakteri ini termasuk genera *Clostridium* sp., *Eubacterium* sp., *Anaerovibrio lipolytica*, *Lactobacillus* sp.

2. Bakteri Asetogenik Penghasil Hidrogen

$$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2$$

Etanol Asam asetat

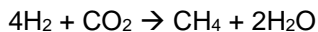


Bakteri asetonogen tumbuh jauh lebih cepat dibandingkan dengan bakteri metanogen. Kecepatan pertumbuhan bakteri asetonogenik mendekati 1 per jam sedangkan bakteri metanogen 0,04 per jam.

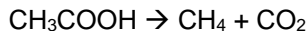
3. Bakteri Metanogen

13

metanogen hidrogenotropik, bakteri ini merubah hidrogen untuk memproduksi gas metan. Unsur hydrogen digunakan sebagai pendonor electron dan CO₂ berperan sebagai penerima electron hingga dihasilkan gas metan. Bakteri yang termasuk hidrogenotropik antara lain *Methanobactriales*, *Methanococcales*, *Methanomicrobiales* dan *Metanopyrales*. Bakteri ini memperoleh energi dari oksidasi hydrogen dan CO₂ sebagai sumber karbon.



Sedangkan bakteri asetiklastik yang berperan dalam proses metanogenesis adalah *Methanosarcinales*. Bakteri ini mengonversi asetat dan metil-karbon menjadi CH₄ dan CO₂.



Sekitar 2/3 gas metan dihasilkan dari konversi asetat oleh metanogen asetotropik. Sepertiga sisanya adalah hasil reduksi karbon dioksida oleh hidrogen. Bakteri metanogen menjaga kesetimbangan gas hidrogen yang dihasilkan pada proses asetogenesis. Hal ini diperlukan karena pembentukan asetat dari senyawa butirat dan propionat membutuhkan tekanan H₂ yang cukup rendah (H₂ < 10⁻⁴ atm) atau proses tidak akan berlangsung. Bakteri metanogen sendiri adalah bakteri obligat-anaerob sehingga proses metanogenesis tidak dapat terjadi apabila terdapat oksigen.

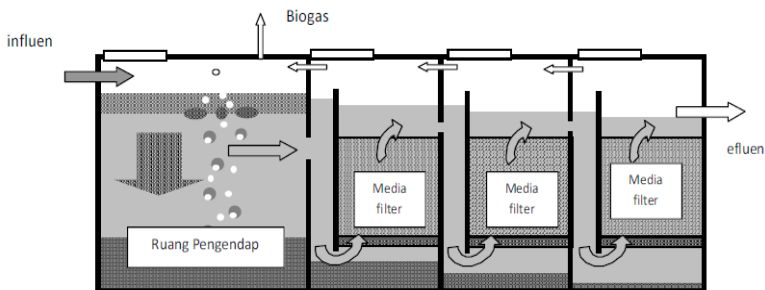
2.4 **Anaerobic Filter**

Anaerobic filter atau yang sering disebut *fixed bed* atau *fixed film reactor* mengolah padatan yang tidak dapat diendapkan dan padatan terlarut dengan cara mengontakkannya pada bakteri. Bakteri tersebut akan mencerna bahan organik terlarut dalam waktu yang singkat. Kebanyakan bakteri tidak dapat

bergerak. Mereka cenderung melekatkan diri pada media padat seperti dinding reaktor (Sasse, 1998).

Sistem *anaerobic filter* adalah sistem dimana biomassa yang terbentuk dalam bentuk biofilm menempel pada suatu media sehingga jumlah biomassa yang terbentuk banyak dan memiliki waktu tinggal yang lama. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (PU) (2017), waktu tinggal hidrolik (HRT) dari sistem *anaerobic filter* adalah 0,5 sampai 4 hari dengan beban COD 0,2 sampai 15 kg/m³.hari. Sedangkan menurut Metcalf dan Eddy (2003) waktu tinggal hidrolik (HRT) sistem *anaerobic filter* adalah 1 hingga 3 hari. Sistem *anaerobic filter* dapat digunakan untuk mengolah air limbah rumah tangga yang umumnya memiliki beban COD yang lemah yaitu 300 – 500 mg/L (Marleni, 2000).

Pertumbuhan biomassa pada biofilter dalam *anaerobic filter* merupakan indikasi dari keberhasilan proses adaptasi mikroorganisme terhadap limbah yang diolah (Chaeundry, dkk., 2003 dalam Radtyaningrum dan Kusuma, 2017). Mikroorganisme dalam *anaerobic filter* menggunakan bahan organik yang terkandung dalam limbah untuk proses metabolisme sehingga menghasilkan pertumbuhan mikroorganisme yang optimum. Pertumbuhan biomassa dalam *anaerobic filter* menghasilkan penebalan biofilm pada biofilter dan mampu mengurangi konsentrasi bahan organik dalam limbah (Radityaningrum & Kusuma, 2017).



Gambar 2. 3 *Anaerobic Filter* dengan Sistem *Up-flow*

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi stabilitas reaktor dalam proses anaerob, antara lain adalah:

- a. Waktu tinggal hidraulik (HRT)
Waktu tinggal hidraulik atau *Hydraulic Retention Time* (HRT) dinyatakan dalam satuan hari. HRT dipengaruhi oleh volume reaktor yang berbanding terbalik dengan debit substrat (Indriyati, 2011). Menurut Metcalf dan Eddy (2003) waktu tinggal hidraulik pada *anaerobic filter* adalah 1 hingga 3 hari.
- b. Laju pembebanan organik
Laju pembebanan organik adalah besaran yang menyatakan jumlah material organik dalam air buangan dalam reaktor per unit volume reaktor per hari (Indriyati, 2011). Sistem pengolahan menggunakan sistem anaerobik dapat mengolah air limbah dengan beban organik yang tinggi. Sistem *anaerobic filter* dapat digunakan untuk mengolah limbah dengan beban organik hingga 5 kg/m³.hari (Sasse, 1998).
- c. *Hydraulic Loading Rate* (HLR)
Hydraulic Loading Rate didefinisikan sebagai perbandingan antara debit limbah dengan luas permukaan reaktor biologis pada sistem pengolahan. Maka, *hydraulic loading rate* berbanding terbalik dengan HRT-nya (Deviyantie, 2000). Menurut Marleni (2000), *hydraulic loading* menunjukkan besarnya erosi biofilm yang diakibatkan oleh aliran limbah influen sehingga dapat mempengaruhi efisiensi penurunan COD. Semakin besar *hydraulic loading*-nya maka proses degradasi tidak dapat berjalan sempurna. *Hydraulic loading* maksimum yang disarankan adalah 2,8 m³/m².hari (Harju, 2010).
- d. Derajat keasaman (pH)
Pada proses anaerobik, pH adalah salah satu parameter penting karena bakteri metan sangat sensitif terhadap perubahan sehingga pH harus selalu dikondisikan pada rentang 6,5 – 7,5 meskipun

proses masih dapat berjalan pada rentang pH 6,0 – 8,0 (Indriyati, 2007). Penurunan pH disebabkan oleh pembentukan asam organik volatil yang berlebih oleh bakteri asidogenesis. Rendahnya nilai pH dapat menyebabkan mikroorganisme tidak dapat bekerja secara maksimal (Dahab, 1982). Namun, proses metanogenesis dapat terjadi dalam kondisi asam maupun basa sehingga produksi gas metan tidak terbatas pada pH yang netral. Efek yang terjadi pada proses metanogenesis tergantung pada mikroorganisme yang hidup (Malina dan Pohland, 1992)

e. Alkalinitas

Alkalinitas pada proses anaerob diperlukan untuk mempertahankan pH agar tetap dalam rentang yang optimum sehingga bakteri metan dapat tumbuh dengan baik dan dapat menghasilkan biogas dengan perbandingan 55 - 75% gas metan dan 25 – 45% gas karbondioksida. Untuk mencapai perbandingan gas diatas, dengan kondisi pH 6,5 dibutuhkan nilai alkalinitas pada rentang 500 – 900 mg/L CaCO_3 (Indriyati, 2011).

f. Suhu

Berdasarkan pada kondisi pengoperasian reaktor anaerobik, bakteri yang hidup dalam reaktor dibedakan menjadi dua golongan yaitu termofilik yang hidup pada suhu 40 – 60°C dan mesofilik yang hidup pada suhu antara 25 – 40°C. Temperatur optimum untuk pertumbuhan bakteri mesofilik adalah pada temperatur 35°C (Indriyati, 2011). Efektifitas kerja *anaerobic filter* sangat dipengaruhi oleh suhu dan HRT. Pada suhu yang tinggi laju konversi zat organik meningkat, sedangkan pada suhu yang rendah menyebabkan produksi gas menurun (Ladu dan Lu, 2014).

Operasi yang menggunakan suhu yang rendah membutuhkan nilai *hydraulic retention time* (HRT) yang lebih tinggi (Metcalf dan Eddy, 2003). Hal ini

disebabkan laju proses hidrolisis yang terjadi semakin menurun (Ladu dan Lu, 2014).

g. Nutrisi

Kebutuhan nutrisi bakteri anaerobik khususnya N dan P yang dibutuhkan untuk memproduksi enzim untuk mencerna karbon. Rasio perbandingan C:N:P berkisar 400 : 7 : 1 dan 1000 : 7 : 1 tergantung pada tinggi rendahnya beban yang akan diolah (Indriyati, 2011).

Kandungan lainnya seperti magnesium, kalsium, natrium, barium, selenium, besi, nikel diperlukan untuk sintesis mikroorganisme metanogenesis tergantung pada jenis mikroorganismenya (Malina dan Pohland, 1992)

h. Senyawa racun atau penghambat

Pada proses anaerob, senyawa penghambat dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu penghambat fisik dan penghambat kimia. Penghambat fisik adalah temperatur, sedangkan penghambat kimia adalah keberadaan logam berat, antibiotik dan asam lemak volatil. Pada proses anaerob konsentrasi asam volatil dalam rentang 200 – 400 mg/l sebagai asam asetat menunjukkan kondisi reaktor yang baik (Indriyati, 2011).

2.5 Kriteria Media *Anaerobic Filter*

Menurut Show dan Tay (1999) menyatakan bahwa faktor-faktor pada media biofilter yang mempengaruhi pertumbuhan biomassa adalah karakteristik partikel pada bahan media, bentuk media, kekasaran media, luas permukaan media (Radityaningrum & Kusuma, 2017). Menurut Said (2005), kriteria media biofilter ideal yang perlu diperhatikan antara lain:

a. **Luas permukaan spesifik media**

Rasio luas permukaan ini berpengaruh terhadap jumlah mikroorganisme yang menempel sebagai biofilm tiap satuan volume media. Luas permukaan spesifik media dinyatakan dalam m^2/m^3 . Luas permukaan spesifik media umumnya memiliki nilai 100 hingga 820 m^2/m^3 . Semakin

besar luas permukaan per satuan volume media maka semakin besar mikroorganisme yang tumbuh dan menempel pada media. Selain itu, luas permukaan spesifik media yang besar menghasilkan volume reaktor yang kecil. Sehingga biaya reaktor juga ikut mengecil.

b. Bentuk dan ukuran media

Bentuk dan ukuran media yang digunakan menentukan jumlah mikroorganisme yang akan menempel pada media tersebut. Pada umumnya, media yang digunakan memiliki diameter 12 – 55 mm (Sasse, 1988).

c. Fraksi volume rongga

Perbandingan total volume media setelah dilewati air limbah dengan volume media sebelum diisi air limbah dinyatakan dalam bentuk persen (%). Volume rongga media yang besar akan semakin baik karena tidak akan menyebabkan penyumbatan dalam proses, apabila limbah yang akan diolah memiliki konsentrasi partikulat yang tinggi. Pada fraksi volume rongga media yang besar, volume ruang terjadinya reaksi akan semakin besar dan menjadi tempat untuk biomassa yang tidak terlekat untuk tumbuh (Malina dan Pohland, 1992).

d. Tahan terhadap penyumbatan

Penyumbatan dapat terjadi karena mekanika filter yang terdapat di dalam reaktor. Namun, penyumbatan juga dapat terjadi karena pertumbuhan biomassa dan menjembatani ruangan dalam media. Kemungkinan penyumbatan pada media dapat dilihat berdasarkan fraksi rongga media dan diameter celah bebas.

e. Terbuat dari bahan inert

Bahan-bahan yang mudah hancur dan mudah terdegradasi seperti kertas dan kayu tidak cocok untuk dijadikan sebagai bahan media biofilter. Selain itu penggunaan bahan yang mudah korosif juga tidak cocok untuk digunakan sebagai bahan media biofilter seperti aluminium, besi dan tembaga. Media biofilter yang paling sering digunakan adalah media dengan bahan yang tidak mudah korosif, tahan terhadap pembusukan dan perusakan secara kimia.

f. Harga per unit luas permukaannya murah

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, media biofilter merupakan tempat bagi para bakteri berkembang biak. Sehingga media biofilter yang digunakan sedapat mungkin memiliki harga yang murah.

g. Sifat kebasahan (*wettability*)

Media tempat bakteri berkembang biak dan menempel harus bersifat *hydrophilic* (suka air). Permukaan yang berminyak, permukaan yang bersifat seperti lilin atau permukaan licin bersifat *hydrophobic* (tidak suka air) tidak baik sebagai media biofilter

Upflow Anaerobic Filter (UAF) digunakan untuk pengolahan air limbah *black water* maupun *grey water*. Sistem aliran dari bawah ke atas akan mengurangi kecepatan partikel yang terdapat pada air limbah dan akan meningkatkan efisiensi pengolahan. Unit UAF dapat dipergunakan untuk mengolah air limbah domestik antara lain dari kegiatan rumah tangga, restoran, hotel, rumah sakit, air limbah industri dengan karakteristik setara dengan air limbah domestik dengan rasio BOD/COD $\geq 0,3$ dapat diaplikasikan pada level rumah tangga atau skala kawasan permukiman kecil.

Tabel 2. 2 Kriteria Desain *Upflow Anaerobic Filter*

No	Faktor Perencanaan	Kriteria
1	Ukuran media filter	2 – 6 cm
2	Luas permukaan media filter	100 - 820 m ² /m ³ ⁽²⁾
3	Waktu tinggal hidrolis dalam filter (td)	0,5 – 4 hari
4	Beban organik (<i>organik loading rate</i>)	0,2 – 15 kg COD/m ³ .hari
5	<i>Hydraulic Loading Rate</i> (HLR)	< 2,8 m ³ /m ² .hari ⁽¹⁾
6	Efisiensi penyisihan BOD	70 – 90 %
7	Tinggi air diatas media (h)	20 cm

Sumber: PERMENPUPR No.4 Tahun 2017

- (1) Harju. (2000). "Assembling and Testing of Laboratory Scale Grey Water Treatment System".
- (2) Said, N. (2005). "Tinjauan Aspek Teknis Pemilihan Media Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah".

2.6 Kelebihan dan Kekurangan *Anaerobic Filter*

Menurut Young dan McCarty, proses *anaerobic filter* dapat mengolah limbah dengan laju beban organik yang tinggi. Proses tersebut dapat berlangsung beberapa kali lebih tinggi dibandingkan dengan proses anaerobik konvensional dan proses aerobik. Proses *anaerobic filter* juga tidak dipengaruhi oleh perubahan laju beban organik dan mikroorganisme yang aktif di dalam bioreaktor mampu bertahan dalam keadaan *starvation*. Selain itu, pengolahan dengan *anaerobic filter* tidak memerlukan pengadukan ataupun resirkulasi sehingga energi yang dibutuhkan tidak banyak (Dahab, 1982).

Menurut Malina dan Pohland (1992), kelebihan dan kekurangan dari proses *anaerobic filter* antara lain:

- Kelebihan
 - a. Didapatkan konsentrasi biomassa yang tinggi dan SRT yang panjang
 - b. Volume reaktor yang kecil karena mampu mengolah beban organik yang tinggi
 - c. Operasi reaktor relatif stabil dengan perubahan debit influen
 - d. Pengolahan untuk konsentrasi padatan tersuspensi (TSS) yang rendah
 - e. Tidak dibutuhkan pengadukan secara mekanis
 - f. Lahan yang dibutuhkan sedikit
- Kekurangan
 - a. Padatan tersuspensi terakumulasi sehingga mempengaruhi HRT reaktor
 - b. Tidak cocok untuk air limbah dengan konsentrasi TSS yang tinggi
 - c. Dibutuhkan *removal* biomassa secara periodik
 - d. Akses yang terbatas dalam mengamati dan mengecek akumulasi biomassa di dalam reaktor
 - e. HRT yang pendek dapat menyebabkan *shock input*
 - f. Biaya media *anaerobic filter* yang mahal

2.7 Limbah Kulit Kerang

Kerang adalah salah satu hewan lunak (Mollusca) kelas Bivalvia atau Pelecypoda. Secara umum bagian tubuh kerang

dibagi menjadi lima, yaitu kaki, kepala, bagian alat pencernaan dan reproduksi, selaput dan cangkang. Pada bagian kepala terdapat organ-organ syaraf sensorik dan mulut. Warna dan bentuk cangkang sangat bervariasi tergantung pada jenis, habitat dan makanannya. Kerang biasanya simetri bilateral, mempunyai sebuah mantel yang berupa daun telinga atau cuping dan cangkang setangkup. Mantel dilekatkan ke cangkang oleh sederatan otot yang meninggalkan bekas melengkung yang disebut garis mantel. Fungsi dari permukaan luar mantel adalah mensekresi zat organik cangkang dan menimbun Kristal-kristal kalsit atau kapur. Cangkang terdiri dari tiga lapisan yaitu:

- a. Lapisan luar tipis, hamper berupa kulit dan disebut periostracum yang melindungi
- b. Lapisan kedua yang tebal, terbuat dari kalsium karbonat
- c. Lapisan dalam terdiri dari *mother of pearl*, dibentuk oleh selaput mantel dalam bentuk lapisan lapisan tipis. Lapisan tipis ini yang membuat cangkang menebal saat hewannya bertambah tua (Kurniasih et al., 2017)

Kulit kerang merupakan bahan sumber mineral yang pada umumnya berasal dari hewan laut berupa kerang yang telah mengalami penggilingan dan memiliki karbonat yang tinggi yaitu sebesar 95 – 99% berat (Akhmad Anugerah S, 2015). Kandungan kalsium dalam cangkang kerang adalah 38% (Kurniasih et al., 2017). Kulit kerang memiliki ketahanan biologis yang baik, bentuk dan kekeasaran yang juga baik. Kandungan kalsium karbonat yang tinggi memungkinkan adanya kandungan kalsium karbonat yang ikut terlarut dalam proses pengolahan. Namun hal ini dapat membantu mengontrol pH di dalam reaktor sebab proses asidogenesis yang dapat menurunkan nilai pH sehingga proses fermentasi dapat berjalan dengan baik (Liu, dkk., 2010).

2.8 Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Radityaningrum dan Kusuma (2017) dalam menguji kemampuan media *anaerobic filter* menggunakan plastik *Poly Ethylene Terephthalate* (PET) dan plastik *Poly Stirene* (PS). Efisiensi

media yang paling besar dalam menurunkan kandungan TSS, BOD dan COD adalah plastik PET yaitu masing-masing parameter sebesar 84%, 79%, 57%. Hal ini disebabkan media plastik PET yang digunakan dibentuk menyerupai bunga sehingga memperluas luas permukaan media yang digunakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Amri dan Wesen (2015), pengolahan air limbah domestik menggunakan media plastik (*bioball*) dengan unit *anaerobic filter*. Hasil yang didapatkan media *bioball* dapat meremoval kandungan COD sebesar 60 persen dengan waktu tinggal 4 hari. Penelitian ini membuktikan bahwa semakin lama waktu tinggal air limbah dalam reaktor maka semakin tinggi removal zat organik dalam air limbah.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Jayanti (2007) kulit kerang yang telah dihancurkan dapat digunakan sebagai media filter pada sistem pengolahan *slow sand filter*. Media filter tersebut mampu menurunkan kekeruhan 82,29 persen dan warna 95,95 persen.

Sedangkan, penelitian menurut Liu, dkk., (2010) pengolahan air limbah domestik menggunakan filter aerobik dengan kulit kerang sebagai salah satu mediana. Hasil dari pengolahan tersebut dapat menurunkan COD sebesar 85 dan 80 persen saat HRT 4 jam serta 65,7 dan 66,8 persen saat HRT 2 jam.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan dalam skala laboratorium. Bahan uji yang digunakan berupa limbah kulit kerang yang berasal dari Pesisir Pantai Kenjeran dan limbah domestik yang berupa *greywater*. Penelitian ini didasarkan atas adanya “GAP” antara kondisi ideal dengan kondisi eksisting sehingga dapat ditentukan rumusan masalah dan tujuan dari penelitian. Berikutnya, dilakukan persiapan awal penelitian yang terdiri dari persiapan alat dan bahan serta penelitian pendahuluan untuk memudahkan pelaksanaan penelitian. Setelah itu dilakukan analisis dan pembahasan terkait hasil penelitian untuk merumuskan kesimpulan.

3.2 Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan merupakan air limbah domestik yang berasal dari Rusunawa Penjaringan Sari 2 Blok E. Sampel air limbah *grey water* diambil setiap hari sesuai kebutuhan debit yaitu 20 L/hari.

3.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang dilakukan adalah menganalisis karakteristik awal air limbah *grey water*. Analisis karakteristik awal dilakukan untuk mengetahui kualitas sampel air limbah *grey water* yang akan digunakan dalam penelitian ini. Parameter yang diuji dalam analisis karakteristik awal ini adalah TSS, BOD dan COD. Ketiga parameter tersebut dipilih karena merepresentasikan mengenai kandungan organik yang terkandung dalam air limbah *grey water* (Radityaningrum & Kusuma, 2017).

Kemudian dilakukan pengumpulan limbah kulit kerang yang akan digunakan sebagai media *anaerobic filter* dari Pantai Kenjeran. Limbah kulit kerang yang digunakan berjenis kerang darah, kerang bulu dan kerang kipas. Setelah dikumpulkan, limbah kulit kerang dianalisis densitas media, fraksi volume rongga media, dan ukuran media. Analisis limbah kulit kerang ini untuk mendapatkan spesifikasi media sehingga dapat ditentukan ukuran reaktor yang dibutuhkan. Analisis spesifikasi media dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air, Teknik Lingkungan, ITS. Adapun cara yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Analisa Ayakan

Analisa ayakan dilakukan untuk mendapatkan media kulit kerang dengan ukuran 20 hingga 40 cm. Analisa ayakan ini menggunakan ayakan bertingkat dengan ukuran saringan 51, 38, 25, 19 dan 12,5 mm. Pelaksanaan analisa ayakan ini dapat dilakukan dengan mengayak partikel dengan cara memutar ayakan ke segala arah untuk melihat partikel yang melewati dan partikel yang tidak melewati saringan. Menurut SNI 03-1968-1990 tentang metode pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar ukuran saringan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Ukuran Saringan pada Analisa Ayakan

No. Ayakan	Diameter Lubang (mm)
2"	50,8
1 1/2"	37,5
1"	25
3/4"	19,1
1/2"	12,5

Sumber: SNI 03-1968-1990

b. Analisa fraksi volume rongga media

1. Memasukkan sejumlah kulit kerang ke dalam *beaker glass* kemudian dicatat volume yang terlihat pada *beaker glass* sebagai volume keseluruhan media dan pori.
2. Masukkan 500 ml (volume total air) air ke dalam *beaker glass* tersebut hingga air terlihat pada permukaan media. Catat sisa air sebagai volume sisa
3. Didapatkan volume pori dan selisih volume total air dan volume sisa air.
4. Hitung fraksi volume rongga media dengan persamaan

volume rongga media

$$= \frac{\text{volume air}}{\text{volume air dan media}} \times 100\%$$

c. Analisa densitas media

1. Memasukkan sejumlah kulit kerang ke dalam *beaker glass* kemudian dicatat volume yang terlihat pada *beaker glass* sebagai volume keseluruhan media dan pori.
2. Timbang media di dalam *beaker glass* tersebut dan dicatat sebagai massa media
3. Masukkan 500 ml (volume total air) air ke dalam *beaker glass* tersebut hingga air terlihat pada permukaan media. Catat sisa air sebagai volume sisa
4. Didapatkan volume pori dan selisih volume total air dan volume sisa air.
5. Selisih volume keseluruhan media dengan volume pori dicatat sebagai volume media tanpa pori
6. Dihitung volume media berdasarkan selisih volume air dan media dengan volume air
7. Dihitung massa jenis media dengan rumus

$$\rho = \frac{\text{massa media}}{\text{volume media}}$$

d. Analisa luas permukaan spesifik media

1. Mengambil sejumlah kulit kerang berdasarkan jenis ukurannya. Kemudian masing-masing kulit kerang ditimbang menggunakan neraca analitik.
2. Dihitung volume per satuan media berdasarkan densitas media sesuai ukuran media.
3. Dihitung luas permukaan pada masing-masing kulit kerang yang telah ditimbang.
4. Dihitung luas permukaan spesifik media dengan rumus

$$\begin{aligned} & \text{Luas permukaan spesifik} \\ &= \frac{\text{Luas permukaan media}}{\text{Volume media}} \end{aligned}$$

z

e. Analisa salinitas media

1. Mengambil sejumlah media kulit kerang dan dimasukkan ke dalam gelas beker.

2. Mencuci kulit kerang menggunakan air bersih sebanyak 3 kali untuk menghilangkan kotoran pada kulit kerang
3. Merendam kulit kerang dengan air bersih selama 24 jam. Kemudian air rendaman kulit kerang dimasukkan ke dalam gelas beker.
4. Air rendaman kulit kerang diuji menggunakan EC meter. Dicatat hasil salinitas yang didapatkan.
5. Dibandingkan hasil salinitas kulit kerang dengan salinitas larutan NaCl 1%.

3.4 Persiapan Alat dan Bahan

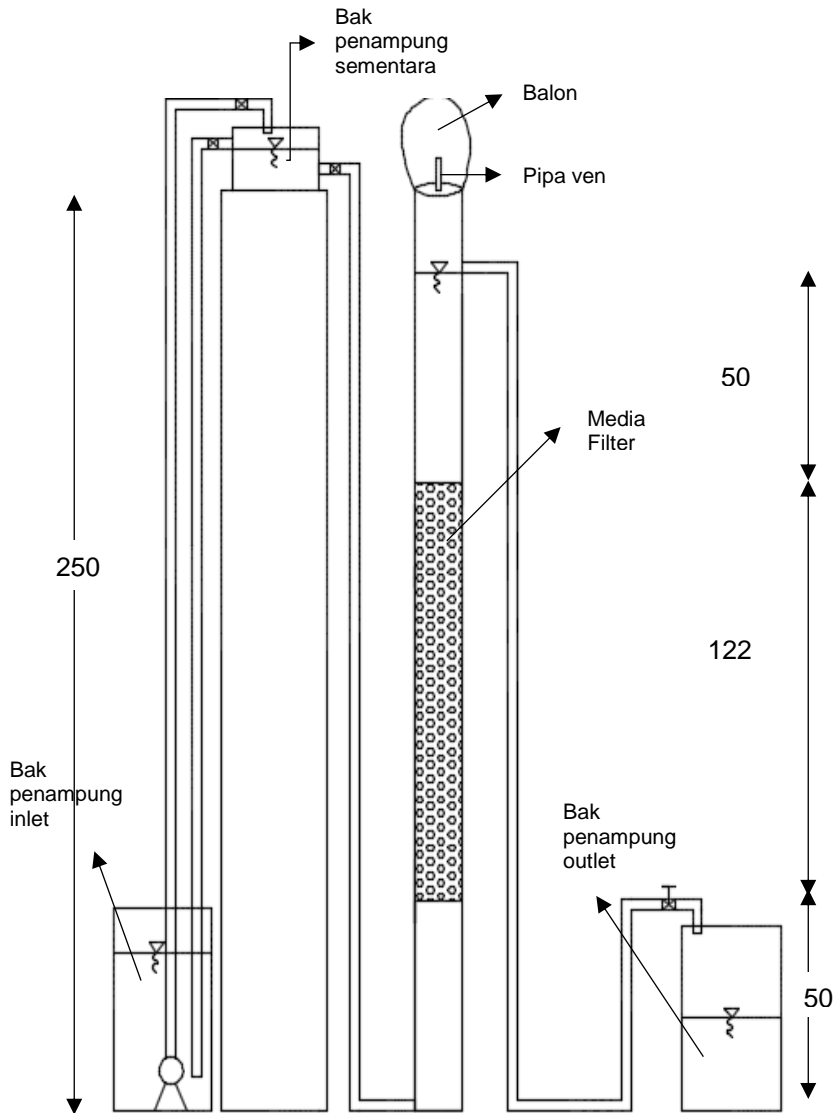
Persiapan alat dan bahan dilakukan untuk mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk membuat reaktor *anaerobic filter* atau menunjang kegiatan penelitian.

1. Limbah kulit kerang dengan ukuran 2 – 4 cm
Limbah kulit kerang ini diambil dari Pantai Kenjeran kemudian dibersihkan menggunakan air yang telah dididihkan untuk menghilangkan kotoran yang menempel pada kulit kerang.
2. EM4 (*Effective Microorganism-4*)
EM4 mengandung 90% bakteri *Lactobacillus sp.*, bakteri fotosintetik, jamur pengurai selulosa dan ragi. EM4 merupakan suatu tambahan untuk mengoptimalkan pemanfaatan zat-zat makanan karena bakteri yang terdapat dalam EM4 dapat mencerna selosa, pati, gula, protein, lemak.
3. Pipa PVC
Pipa PVC digunakan sebagai reaktor *anaerobic filter*. Pipa PVC yang digunakan berjenis AW dengan diameter 5 inch dan tinggi 220 cm
4. Kran air plastik sebanyak 2 buah
Kran air plastik akan dipasang di bagian atas bak penampung air limbah. Hal ini dilakukan untuk menjaga debit air limbah yang masuk ke dalam reaktor. Selain itu, kran plastik juga dipasang di bagian outlet reaktor untuk mengambil sampel air yang telah diolah di dalam *anaerobic filter*.

5. Selang air
Selang air digunakan untuk mengalirkan air hasil *overflow* dari bak penampung air limbah yang ada diatas menuju bak penampung air limbah yang ada dibawah.
6. Bak penampung air 10 L
Bak penampung air ini digunakan untuk menampung air limbah sebelum dialirkan menuju reaktor *anaerobic filter* dan setelah keluar dari reaktor. Bak penampung air diletakkan dibawah reaktor sebagai bak penampung inlet dan bak penampung outlet serta bak penampung sementara.

3.5 Pembuatan Reaktor

Reaktor *anaerobic filter* terbuat dari pipa PVC dengan diameter 5 inch (12,7 cm) dan tinggi 250 cm dengan volume reaktor 32 L. Debit air limbah *grey water* yang diolah pada reaktor ini adalah 20 L/hari. Media yang digunakan adalah kulit kerang dengan ketebalan 55, 80 dan 122 cm berdasarkan perhitungan yang dilakukan (Lampiran A). Ketebalan media dihitung berdasarkan variasi *Organik Loading Rate* (OLR) yaitu 0,45; 0,7 dan 1 kg COD/m³.hari. Reaktor yang dibutuhkan berjumlah 3 reaktor. Untuk memudahkan pengujian dilakukan 3 tahapan pengujian dengan masing-masing waktu tinggal hidrolik (HRT) air limbah dalam reaktor yaitu 24, 30 dan 36 jam. Reaktor dioperasikan secara kontinyu dengan aliran *up-flow*. Pada setiap reaktor dipasang selang *overflow* untuk mengalirkan kelebihan air pada reaktor *anaerobic filter* atau pada bak penampung sementara. Hal ini dilakukan untuk menjaga debit yang masuk ke dalam reaktor *anaerobic filter*. Reaktor menggunakan bak penampung sementara dengan volume 10 L dan diletakkan pada ketinggian 250 cm. Hal ini dilakukan untuk menjaga debit yang masuk ke dalam reaktor *anaerobic filter*. Air dibagian atas media direncanakan minimal 20 cm sesuai kriteria desain dari PERMENPUPR No.4 Tahun 2017. Reaktor dioperasikan secara tertutup agar terjadi kondisi anaerobik dan diberi pipa ven untuk mengeluarkan gas metana (CH₄) yang dihasilkan. Pada bagian atas reaktor diberikan balon untuk membuktikan adanya gas metan yang dihasilkan dari proses yang terjadi dalam reaktor. Sketsa reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Sketa Reaktor *Anaerobic Filter* dengan Media 122 cm dan HRT 36 jam (satuan dalam cm)

3.6 Seeding dan Aklimatisasi

Seeding merupakan proses penumbuhan mikroorganisme yang berasal dari EM4. Proses *seeding* dilakukan untuk menumbuhkan biomassa yang akan mendegradasi air limbah yang akan diolah dalam reaktor. Proses ini dilakukan dengan cara memasukkan air limbah *grey water* dan EM4 ke dalam reaktor *anaerobic filter*. Hal ini dilakukan untuk membiasakan mikroorganisme mencerna polutan yang terkandung di dalam *grey water*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ikhlas, dkk. (2014) penambahan EM4 yang paling efektif dalam melakukan *seeding* dan aklimatisasi pada media biofilter adalah dengan perbandingan 1:40 dimana untuk setiap 40 L air limbah ditambahkan 1 L EM4. Maka, EM4 yang ditambahkan pada air limbah dengan HRT 24 jam adalah 500 mL sedangkan untuk air limbah dengan HRT 30 jam adalah 625 mL.

Aklimatisasi merupakan proses adaptasi mikroorganisme dalam mengolah limbah yang baru. Selama proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan pengukuran COD hingga diperoleh kondisi *steady state*. Kondisi *steady state* diperoleh apabila efluen sampel telah mencapai nilai konsentrasi COD yang konstan atau stabil. Tahap *seeding* dan aklimatisasi dilakukan dalam waktu yang sama selama 7 hari. Hal ini dilakukan karena tahap *seeding* dan aklimatisasi dilakukan dalam reaktor.

3.7 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi waktu tinggal hidrolis (HRT) dan variasi ketebalan media limbah kerang yang digunakan. Debit air limbah *grey water* yang digunakan adalah 20 L/hari. Setelah dilakukan tahap *seeding* dan aklimatisasi, sampel *grey water* dialirkan secara kontinyu selama 7 hari. Setelah itu dilakukan analisis tiap parameter uji di inlet bak penampung yaitu sampel air limbah *grey water* sebelum masuk ke reaktor dan di kran outlet yaitu air hasil olahan reaktor *anaerobic filter* yang diperoleh. Analisis sampel inlet dan outlet diuji tiga parameter yaitu COD, BOD dan TSS dan dilakukan setiap hari untuk mengetahui efisiensi kerja media kulit kerang. Sebelum air limbah *grey water* diolah menggunakan *anaerobic*

filter, air limbah diendapkan terlebih dahulu pada bak pengendap pertama dengan volume 25 L selama 2 jam. Penelitian ini digunakan untuk mengetahui kemampuan limbah kerang sebagai media dalam unit *anaerobic filter* untuk menurunkan kandungan zat organik dalam air limbah *grey water*. Pengamatan kerja *anaerobic filter* dilakukan selama 1 minggu. Variasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Variasi Penelitian

<div>Ketebalan Media (cm)</div> <div>Variasi HRT</div>	55	80	122
24 jam	Reaktor A1	Reaktor A2	Reaktor A3
30 jam	Reaktor B1	Reaktor B2	Reaktor B3
36 jam	Reaktor C1	Reaktor C2	Reaktor C3

3.8 Metode Analisis Sampel dan Data

Menurut PERMENPUPR No.4 Tahun 2017, *Unit Anaerobic Filter* (UAF) dapat menurunkan kandungan minyak atau lemak, senyawa organik (BOD, COD) dan total padatan (TSS). Namun tidak sesuai untuk menurunkan kandungan ammonia, detergen dan hidrogen sulfida. Sehingga parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kandungan zat organik yang meliputi analisis TSS, BOD dan COD. Analisis pH juga dilakukan karena aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi air limbah sangat dipengaruhi pH sehingga diperlukan analisis pH secara terus-menerus untuk menjaga pH optimum reaktor. Metode analisis yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Untuk analisis data dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian ini mencakup:

1. Kemampuan media kulit kerang sebagai media *anaerobic filter* dalam menurunkan konsentrasi organik dalam air limbah *grey water*.
2. Variasi waktu tinggal hidrolis air limbah *grey water* dan variasi ketebalan media yang paling efektif dalam

menurunkan konsentrasi organik dalam air limbah *grey water*.

Tabel 3. 3 Metode Analisis Sampel

Analisis	Tujuan	Metode	Standar
<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	Menentukan besar degradasi organik	Metode <i>Closed reflux</i>	SNI 6989.73:2009
<i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i>	Mengetahui tingkat biodegradabilitas sampel (Rasio BOD/COD)	Metode Yodometri (Winkler)	SNI 6989.72:2009
<i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	Mengetahui total padatan tersuspensi sampel	Metode Gravimetri	SNI 06-6989.3-2004
pH	Menganalisis kondisi keasaman sampel	Metode elektrometrik (pH meter)	SNI 06-6989.11-2004

Hasil analisis akan dibahas dan diverifikasi kembali dengan tinjauan pustaka sehingga dapat memberikan kesimpulan. Analisis dan pembahasan dalam penelitian ini akan dibuat dalam bentuk tabel, grafik dan interpretasi yang diperkuat dengan analisis statistik deskriptif.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Air Limbah

Hasil analisa pada awal penelitian terhadap karakteristik limbah grey water yang telah diambil di saluran outlet air limbah Rusunawa Penjaringan Sari 2 Blok E pada pukul 06.00 WIB hingga 09.00 WIB dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Karakteristik *Grey Water*

Parameter	Kadar	Baku Mutu	Satuan
COD	800	100	mg/L
BOD	588	30	mg/L
TSS	140	30	mg/L
pH	6,8	6-9	-

Karakteristik limbah ini diambil dari nilai tertinggi dari semua air limbah yang telah diambil selama uji penelitian berlangsung. Pada hasil analisa air limbah yang diambil menunjukkan hasil yang fluktuatif. Hal ini disebabkan tidak adanya kesamaan aktivitas setiap harinya di dalam Rusunawa Penjaringan Sari 2 Blok E. Aktivitas yang dapat menyebabkan tingginya kadar zat organik salah satunya adalah kegiatan mencuci.

Namun hal ini tidak berpengaruh karena COD air limbah grey water yang digunakan masih dalam rentang beban COD yang dapat diolah oleh Anaerobic Filter.

Perbedaan kualitas inlet yang masuk kedalam reaktor pengolahan mempengaruhi beban organik yang masuk ke dalam reaktor pengolahan. Perbedaan beban organik untuk setiap reaktor pengolahan ditunjukkan dalam Tabel 4.2. Kualitas laju beban organik yang berbeda dari air limbah *grey water* yang didapatkan masih berada dalam rentang laju beban organik yang dapat diolah oleh *anaerobic filter* sesuai PERMENPUPR No.4 Tahun 2017.

Berdasarkan nilai COD yang didapatkan dari analisis air limbah *grey water* terhadap sumber diperoleh nilai COD berada dalam rentang 240 mg/L hingga 800 mg/L. Sehingga laju beban organik yang didapatkan untuk penelitian ini berada dalam rentang 0,34 kg COD/m³.hari hingga 2,42 kg COD/m³.hari.

Rentang laju beban organik tersebut masih berada dalam rentang laju beban organik yang dapat diolah oleh *anaerobic filter*.

Tabel 4. 2 Beban Organik Grey Water Berdasarkan Waktu Detensi dan Tinggi Medianya

Waktu Detensi (Jam)	Tinggi Media (cm)	Beban Organik (kg COD/m ³ .hari)
24	55	0.75 - 1
	80	0.75 - 1
	122	0.48 - 0.51
30	55	0.48 - 0.51
	80	0.34 - 0.35
	122	0.34 - 0.35
36	55	0.77 - 2.42
	80	0.51 - 1.7
	122	0.31 - 0.86

4.2 Karakteristik Media Kerang

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan media kulit kerang sebagai media alternatif untuk *anaerobic filter*. Kemampuan yang diujikan adalah kemampuan untuk menurunkan kandungan zat organik berdasarkan nilai COD, BOD dan TSS.

Karakteristik media kulit kerang diukur berdasarkan ukuran diameter, densitas, fraksi volume rongga media, luas permukaan spesifik media serta salinitas pada kulit kerang. Uji salinitas ini dilakukan karena media kulit kerang yang digunakan diambil dari pinggir pantai Kenjeran sehingga kemungkinan salinitas media cukup tinggi.

4.2.1 Ukuran Media

Kulit kerang yang digunakan merupakan kulit kerang yang diambil dari Pantai Kenjeran. Kulit kerang yang diambil terdiri dari beberapa ukuran sehingga ukuran dan homogenitas ukuran kulit kerang belum diketahui. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui ukuran dan homogenitas media kulit kerang yang

digunakan. Analisis ukuran media kulit kerang ini menggunakan metode ayakan sesuai 03-1968-1990 tentang analisis saringan agregat halus dan kasar.

Pengukuran dilakukan dengan menyusun set ayakan dari ukuran 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ ") untuk yang paling besar hingga 12,5 mm ($\frac{1}{2}$ ") untuk yang paling kecil. Penentuan ukuran ini didasarkan pada PERMENPUPR No.4 Tahun 2017, dimana ukuran media yang digunakan sekitar 2 cm hingga 6 cm. Ayakan disusun dari yang paling besar diatas hingga yang paling kecil dibawah. Kemudian ayakan diguncang dengan tangan untuk melihat media kulit kerang yang tertahan di setiap ayakan. Pada penelitian ini dilakukan pengayakan menggunakan 8 kg kulit kerang. Hasil akhir dari pengayakan ini dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Hasil Ayakan Media Kulit Kerang

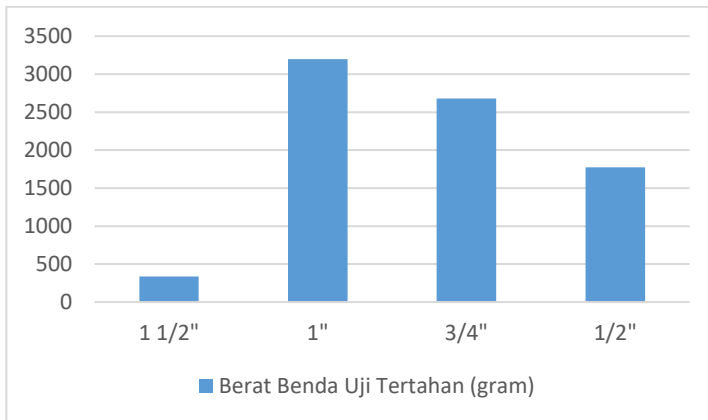
No Ayakan	Berat Benda Uji Tertahan (gram)	% Media Tertahan
1 1/2" (37.5 mm)	338	4.23
1" (25 mm)	3198	40.03
3/4" (19.1 mm)	2679	33.53
1/2" (12.5 mm)	1775	22.22

Tabel 4. 4 Data Stok Media Kullit Kerang

No ayakan	D. Media (cm)	% Media Tertahan	% Kumulatif Media Tertahan
1 1/2" (37.5 mm)	3.75	4.23	4.23
1" (25 mm)	2.5	40.03	44.26
3/4" (19.1)	1.91	33.53	77.78
1/2" (12.5 mm)	1.25	22.22	100.00

Berdasarkan hasil analisis media kulit kerang pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 ukuran media kulit kerang setelah diayak terbagi menjadi empat ukuran yaitu $1\frac{1}{2}$ " (37,5 mm), 1" (25 mm), $\frac{3}{4}$ " (19,1 mm) dan $\frac{1}{2}$ " (12,5 mm). Hasil persentase terbesar diperoleh media dengan yang tertahan dengan ukuran 1" (25

mm) yaitu mencapai 40,03 persen dari total 8 kg media kulit kerang. Sedangkan yang kedua adalah media yang tertahan pada ukuran $\frac{3}{4}$ " (19,1 mm) yaitu mencapai 33,53 persen. Pada media yang tertahan pada ayakan ukuran $\frac{1}{2}$ " mencapai 22,22 persen. Pada media yang tertahan pada ayakan dengan ukuran $1\frac{1}{2}$ " (37,5 mm) hanya mencapai 5,44 persen.



Gambar 4. 1 Ukuran Media Kulit Kerang

Dari hasil proses ayakan tersebut, media kulit kerang yang digunakan sebagai media *anaerobic filter* hanya media dengan ukuran persentase besar yaitu media yang tertahan pada ayakan ukuran 1" (25 mm) dan $\frac{3}{4}$ " (19,1 mm). Hasil ayakan yang lolos dari ayakan paling kecil yaitu $\frac{1}{2}$ " tidak digunakan karena ukurannya yang tidak sesuai dengan kriteria desain yang minimal ukuran media adalah 2 cm. sedangkan hasil ayakan terbesar yaitu media yang tertahan pada ayakan ukuran $1\frac{1}{2}$ " juga tidak digunakan karena persentase keberadaannya hanya sedikit.

4.2.2 Fraksi Volume Rongga Media

Salah satu faktor yang mempengaruhi efektivitas media adalah fraksi volume rongga media. Fraksi volume rongga media adalah perbandingan total volume media setelah dilewati air limbah dengan volume media sebelum diisi air limbah. Volume rongga media yang besar akan semakin baik karena tidak akan

menyebabkan penyumbatan dalam proses pengolahan. Pada volume rongga media yang besar, volume ruang terjadinya reaksi akan semakin besar dan menjadi tempat untuk biomassa yang tidak terlekat untuk tumbuh (Marlina dan Pohland, 1992).

Pengukuran fraksi volume rongga media dilakukan pada media kulit kerang yang dipilih sebagai media *anaerobic filter*. Media kulit kerang yang digunakan adalah media yang tertahan pada ukuran 1" (25 mm) dan $\frac{3}{4}$ " (19,1 mm). Selain itu media campuran antara media kulit kerang tertahan 1" dan $\frac{3}{4}$ " juga dilakukan. Hal ini dilakukan karena media kulit kerang yang digunakan merupakan campuran antara keduanya. Hasil pengujian volume rongga media pada media kulit kerang dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut

Tabel 4. 5 Fraksi Volume Rongga Media Media Kulit Kerang

Media	Fraksi volume rongga media (%)
1" (25 mm)	80
$\frac{3}{4}$ (19.1 mm)	79.4
Campuran	80.5

Hasil pengujian fraksi volume rongga pada media dengan ukuran tertahan 1" (25 mm) mencapai 80 persen. Sedangkan pada media dengan ukuran tertahan $\frac{3}{4}$ " (19,1 mm) mencapai 79,4 persen. Pada media campuran antara kedua media tertahan tersebut didapatkan fraksi volume rongga media mencapai 80,5 persen. Berdasarkan hasil yang didapatkan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran media kulit kerang semakin besar fraksi volume rongga media yang didapatkan. Hal ini dikarenakan ruang antar media akan semakin besar. Namun berdasarkan hasil pengujian fraksi volume rongga media seperti pada Tabel 4.5 diperoleh hasil yang tidak begitu signifikan perbedaannya. Sehingga dapat disimpulkan bahwa media kulit kerang memiliki fraksi volume rongga media yang cukup besar terlepas dari ukuran medianya.

4.2.3 Densitas media

Massa jenis atau densitas merupakan massa partikel yang menempati satu unit volume tertentu. Massa jenis ini juga

disebut kerapatan yang merupakan suatu kekompakan partikel dalam suatu bahan. Nilai kerapatan dapat dihitung dengan rumus ((Berli dalam Sasmitha, 2017):

$$\text{Kerapatan} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Pengukuran densitas dilakukan pada media kulit kerang yang dipilih sebagai media *anaerobic filter*. Media kulit kerang yang digunakan adalah media yang tertahan pada ukuran 1" (25 mm) dan ¾" (19,1 mm). Selain itu media campuran antara media kulit kerang tertahan 1" dan ¾" juga dilakukan. Hal ini dilakukan karena media kulit kerang yang digunakan sebagai media *anaerobic filter* merupakan campuran antara keduanya.

Tabel 4. 6 Densitas Pada Media Kulit Kerang

Media	Densitas (g/ml)
1" (25 mm)	2.34
3/4 (19.1 mm)	2.21
Campuran	2.3

Hasil pengujian densitas pada media dengan ukuran tertahan 1" (25 mm) mencapai 2,34 gram/ml. Sedangkan pada media dengan ukuran tertahan ¾" (19,1 mm) mencapai 2,21 gram/ml. Pada media campuran antara kedua media tertahan tersebut didapatkan densitas mencapai 2,3 gram/ml. Berdasarkan hasil yang didapatkan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran media kulit kerang semakin besar densitas yang didapatkan. Hal ini dikarenakan pada media yang lebih besar memiliki massa yang semakin besar juga sehingga nilai densitas yang didapatkan semakin besar.

4.2.4 Luas Permukaan Spesifik Media

Luas permukaan spesifik adalah ukuran seberapa luas area yang aktif secara biologis tiap satuan volume media. Satuan pengukurannya adalah meter persegi per meter kubik media. Luas permukaan spesifik sangat bervariasi namun secara umum sebagian media biofilter memiliki nilai antara 100 hingga 820 m²/m³ (Said, 2005).

Luas permukaan media dihitung untuk membandingkan kulit kerang yang digunakan dengan media *anaerobic filter* lainnya, seperti *bioball*, kerikil, sarang tawon dan lain-lain. Luas permukaan media yang lebih besar memberikan tempat yang lebih luas bagi bakteri untuk terbentuk sehingga proses pengolahan berjalan lebih cepat (Sasse, 1998).

Berdasarkan kulit kerang yang telah dianalisis, luas permukaan spesifik media untuk ukuran media $\frac{3}{4}$ " adalah $420,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Sedangkan pada ukuran media 1" didapatkan luas permukaan spesifik media $302,3 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Semakin besar ukuran diameter media maka akan semakin kecil luas permukaan spesifik medianya sehingga volume reaktor yang dibutuhkan akan semakin besar (Said, 2005).

4.2.5 Salinitas media

Menurut Wijanarka,dkk., (2017), kandungan garam yang tinggi pada air limbah menghasilkan suatu tekanan osmosis negatif pada sitoplasma. Jika bakteri yang habitatnya pada air tawar ditempatkan pada air dengan salinitas tinggi, maka air dalam sitoplasma akan keluar melalui membrane sel, akibat perbedaan tekanan osmosis di dalam dan di luar sel. Mekanisme ini menghasilkan kondisi kering dalam sel dan akhirnya sel akan mati.

Pada penelitian ini digunakan media kulit kerang yang diambil dari Pantai Kenjeran. Lokasi pengambilan media ini bersentuhan langsung dengan air laut sehingga ditakutkan media kulit kerang mengandung salinitas yang tinggi. Salinitas yang tinggi ini dapat menjadi kondisi mematikan bagi bakteri anaerob.

Uji salinitas dilakukan dengan menguji air cucian media kulit kerang. Media kulit kerang yang telah dipilih sebagai media *anaerobic filter* dibersihkan terlebih dahulu. Kemudian air rendaman selama 24 jam dari media kulit kerang diuji salinitasnya menggunakan EC meter.

Hasil dari pengujian salinitas pada media kulit kerang didapatkan sebesar 0,13 psu dengan suhu $31,8^\circ\text{C}$. Menurut Sari, dkk., (2016), pertumbuhan mikroorganisme di air tawar dapat dihambat dengan konsentrasi NaCl 1% atau sebanding dengan 10,35 psu. Sehingga dapat terlihat bahwa hasil salinitas pada air

media kulit kerang tidak terlalu tinggi dimana hasilnya hampir mendekati nilai salinitas pada air tawar yaitu 0.

4.3 Proses Seeding dan Aklimatisasi

Tahapan *seeding* dan aklimatisasi dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah dan EM4 secara kontinyu ke dalam reaktor. Tahapan ini dilakukan secara bersamaan karena proses pembiakan mikroorganisme langsung di dalam reaktor. Proses *seeding* dilakukan untuk menumbuhkan biomassa yang akan mendegradasi air limbah yang akan diolah dalam reaktor. Sedangkan proses aklimatisasi merupakan proses adaptasi mikroorganisme dalam mengolah limbah yang baru (Ikhlash, dkk., 2014).

Penambahan EM4 dalam melakukan *seeding* dan aklimatisasi pada media biofilter adalah dengan perbandingan 1:40 dimana untuk setiap 40 L air limbah ditambahkan 1 L EM4. Maka, EM4 yang ditambahkan pada air limbah dengan HRT 24 jam adalah 500 mL sedangkan untuk air limbah dengan HRT 30 jam adalah 625 mL. Proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan selama 10 hari menggunakan debit yang sama dengan penelitian utama yaitu 20 L/hari.

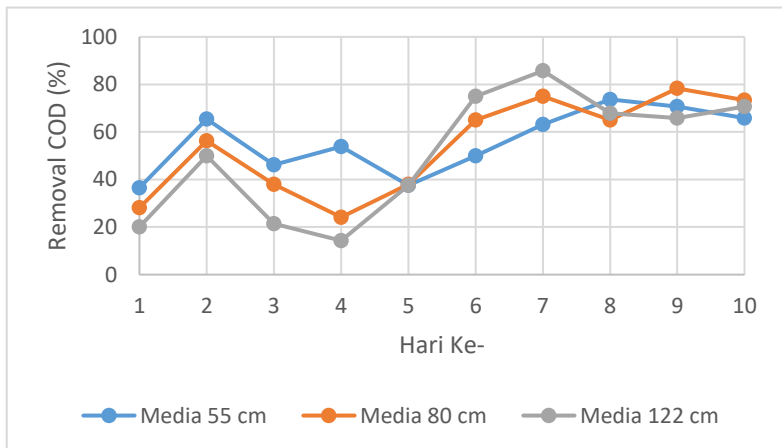
Pemantauan *seeding* dan aklimatisasi dilakukan dengan cara uji nilai kandungan organik berdasarkan nilai COD. Keberadaan biofilm yang melekat pada media dapat dilihat berdasarkan penurunan kadar zat organiknya. Menurut Indomarsudi (2001), kondisi *steady state* dicapai apabila effluent nilai zat organiknya (COD) relative konstan (fluktuasi $\pm 10\%$). Parameter yang diuji selama *seeding* dan aklimatisasi selain COD adalah pH. Parameter pH diujikan untuk melihat kondisi pH optimum di dalam reaktor sehingga dapat diketahui reaktor berjalan dengan baik.

Analisis parameter COD dan pH pada proses *seeding* dan aklimatisasi dilakukan pada reaktor dengan ketebalan media 55, 80 dan 122 cm. Hasil uji parameter COD yang telah dilakukan dapat dilihat pada Grafik 4.2.

Pada awal proses *seeding* dan aklimatisasi, nilai removal COD pada reaktor dengan waktu detensi 24 jam masih mengalami fluktuasi yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan karena reaktor belum mencapai kestabilan. Selain itu, nilai

removal COD yang rendah ini diakibatkan oleh reaktor yang mengalami *wash-out* pada effluenmya.

Pada media dengan ketebalan 55 cm, removal COD pada hari pertama hanya mencapai 36 persen. Kemudian pada hari kedua hingga hari kelima, removal COD mengalami fluktuatif karena keadaan reaktor yang belum stabil. Peningkatan removal COD terlihat dimulai pada hari keenam dengan removal COD mencapai 50 persen dan terus mengalami peningkatan hingga hari kedelapan yang mencapai 73,6 persen. Sedangkan pada hari kesembilan dan hari kesepuluh, nilai removal COD mengalami penurunan namun telah menunjukkan keadaan stabil dengan perbedaan nilai removal COD kurang dari 10 persen.

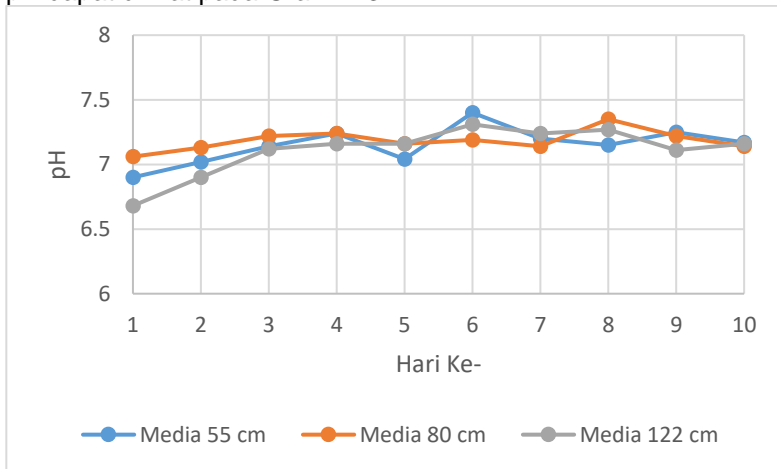


Gambar 4. 2 Removal COD *Seeding* dan Aklimatisasi

Pada media dengan ketebalan 80 cm, removal COD pada hari pertama hanya mencapai 28,12 persen. Sama seperti media dengan ketebalan 55 cm, pada hari kedua hingga hari keempat, removal COD mengalami fluktuatif karena keadaan reaktor yang belum stabil. Kestabilan reaktor dicapai pada hari ketujuh dengan nilai removal COD mencapai 75 persen.

Sedangkan pada media dengan ketebalan 122 cm, removal COD pada hari pertama hanya mencapai 20 persen. Pada hari kedua hingga hari keempat, nilai removal COD

mengalami fluktuatif dan baru mulai mengalami peningkatan pada hari kelima. Kestabilan reaktor dicapai pada hari kedelapan dengan nilai removal COD yaitu 67,86 persen. Hasil analisis nilai pH dapat dilihat pada Grafik 4.3.

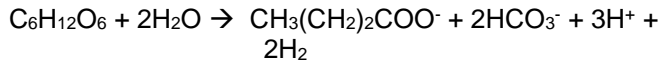


Gambar 4. 3 Nilai pH Proses *Seeding* dan Aklimatisasi

Berdasarkan Grafik 4.3, terlihat bahwa nilai pH pada setiap media dengan ketebalan media 55, 80 dan 122 cm relatif konstan. Nilai pH yang diperoleh berada dalam rentang 6,8 hingga 7,4. Nilai pH yang stabil ini menunjukkan kondisi yang baik di dalam reaktor. Menurut Indiyati (2007), pH optimum pada proses anaerobik adalah 6,5 – 7,5.

Rendahnya nilai pH pada hari pertama dapat disebabkan oleh proses hidrolisis dan asidifikasi yang terjadi terlebih dahulu dibandingkan dengan proses methanasi. Menurut Henze dan Heremoes (dalam Indromarsudi, 2001), bakteri asidogen paling mudah beradaptasi dan berkembang biak pada awal proses pembiakan bakteri atau proses *seeding*. Ketika bakteri acetogen dan methanogen lebih lambat berkembang biak pada awal proses *seeding* dan aklimatisasi berada dalam jumlah yang kecil dalam reaktor maka substrat dalam bentuk *volatile fatty acids* (VFA) akan keluar bersama effluen. Hal inilah yang menyebabkan nilai pH dan nilai removal COD rendah.

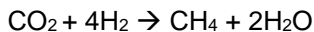
Penurunan pH secara teoritis karena penguraian senyawa organik yaitu:



Semakin banyak senyawa organik yang diuraikan maka semakin banyak ion HCO_3^- dihasilkan. Berdasarkan reaksi:



Sehingga dengan meningkatnya HCO_3^- mengakibatkan menurunnya H^+ . Secara teoritis penurunan konsentrasi CO_2 yang dapat meningkatkan pH terjadi karena penggunaan CO_2 dalam pembentukan gas metan (Indromarsudi, 2001).



Selain itu, kandungan kalsium karbonat pada limbah kulit kerang dapat membantu meningkatkan nilai pH yang menurun (Liu, dkk., 2010). Kemungkinan kandungan kalsium karbonat yang ikut terlarut dalam air dapat meningkatkan nilai pH dalam pengolahan hingga menjadi basa. Maka, penambahan senyawa asam dapat dilakukan untuk menetralkan pH sehingga proses pengolahan anaerobic dapat berlangsung secara maksimal. Proses pengikisan media kulit kerang dapat menyebabkan penyumbatan pada media filter, karena padatan kalsium karbonat yang terkikis. Sehingga untuk mengantisipasi penyumbatan pada reaktor, dilakukan *backwash* atau pencucian arah balik (Samatha dan Effendi, 2010).

Setelah dianggap reaktor mencapai kondisi *steady state* dengan fluktuasi COD hanya berkisar 10 persen dan nilai pH menunjukkan hasil yang stabil maka reaktor dapat digunakan untuk penelitian utama.

4.4 Kinerja Media Kulit Kerang

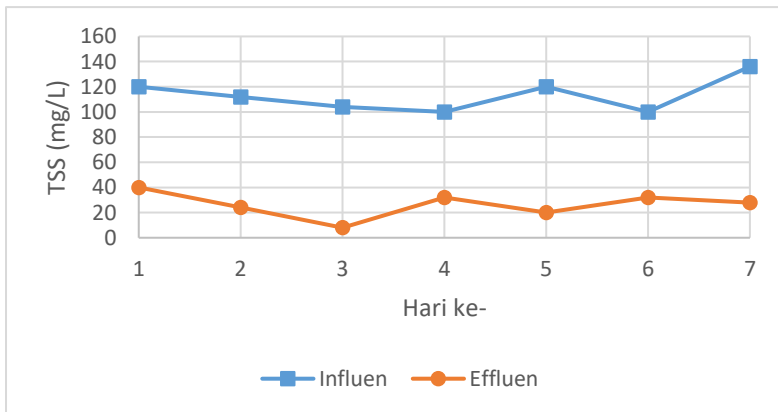
Kinerja media kulit kerang sebagai media pada *anaerobic filter* dilihat pada hasil penurunan kadar zat organik dan zat tersuspensi pada air limbah yang diolah. Media kulit

kerang digunakan sebagai tempat hidup bagi mikroorganisme atau biomassa.

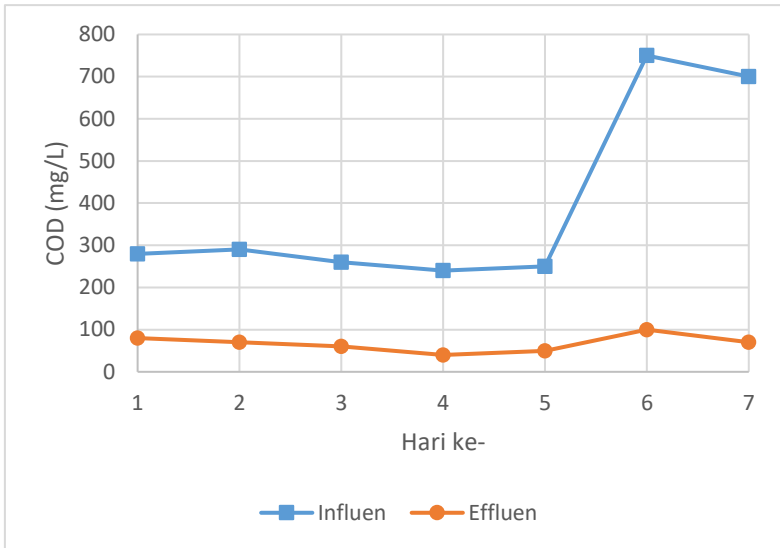
Analisis yang dilakukan adalah analisis penurunan zat organik yang dilihat berdasarkan penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan kadar BOD (*Biological Oxygen Demand*). Chemical Oxygen Demand menyatakan banyaknya jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi kandungan organik yang berada di dalam air menggunakan zat kimia berupa kalium dikromat (Nursetyowati, dkk., 2015). Sedangkan BOD menyatakan banyaknya jumlah oksigen terlarut yang digunakan oleh mikroba untuk mendegradasi bahan organik di dalam air (Fachrurrozi, dkk., 2010).

Analisis dan pengamatan dilakukan selama 7 hari setelah proses *seeding* dan aklimatisasi selesai dilakukan. Reaktor penelitian dijalankan pada debit 20 L/hari dan kecepatan aliran keatas 1,57 m/hari. Analisa dilakukan berdasarkan perbedaan waktu detensi dan ketinggian media. Waktu detensi yang digunakan adalah 24, 30 dan 36 jam. Sedangkan ketinggian media yang digunakan adalah 55, 80 dan 122 cm.

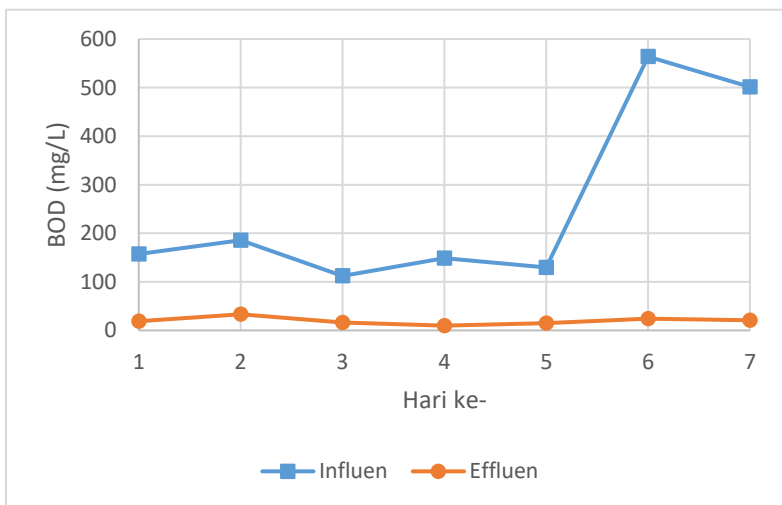
Setelah melakukan analisa pada setiap variabel media setelah proses *seeding* dan aklimatisasi didapatkan hasil analisis COD, BOD dan TSS yang digambarkan pada Gambar 4.4 hingga 4.6.



Gambar 4. 4 Nilai TSS Pada Waktu Detensi 36 Jam dan Media 122 cm



Gambar 4. 5 Nilai COD Pada Waktu Detensi 36 Jam dan Media 122 cm



Gambar 4. 6 Nilai BOD Pada Waktu Detensi 36 Jam dan Media 122 cm

Hasil analisis COD, TSS dan BOD pada Gambar 4.4 hingga Gambar 4.6 didapatkan dari hasil analisis variabel media yang menghasilkan efisiensi penurunan parameter pencemar yang paling baik. Berdasarkan hasil analisis tersebut didapatkan variabel media yang paling baik adalah variabel media dengan waktu detensi 36 jam dan ketinggian media 122 cm.

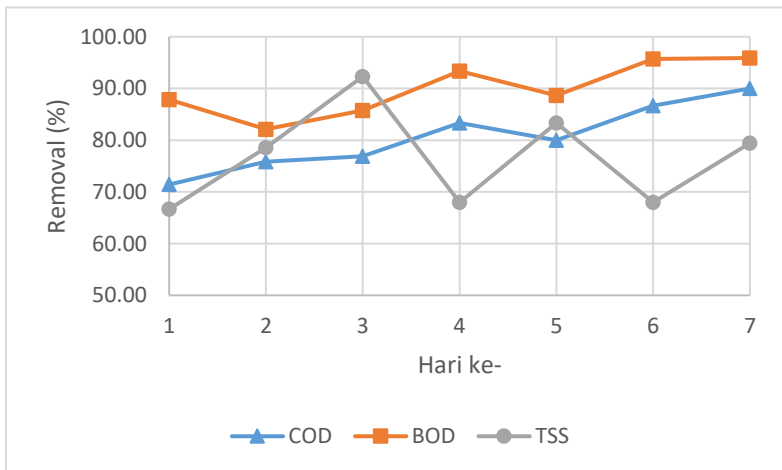
Berdasarkan gambar 4.4 hingga 4.6 terlihat hasil analisis influen mengalami fluktuatif yang cukup signifikan terutama pada hari kelima. Hal ini disebabkan influen yang berubah setiap harinya mengindikasikan bahwa aktivitas dari sumber air limbah juga berbeda setiap harinya. Aktivitas yang dapat menyebabkan tingginya kadar zat organik salah satunya adalah kegiatan mencuci.

Dari hasil yang didapatkan menunjukkan nilai removal pada parameter COD dan BOD yang relatif stabil walaupun keadaan influen yang fluktuatif. Sedangkan pada parameter TSS, hasil effluen yang didapatkan mengalami fluktuatif. Begitupun dengan influennya juga mengalami fluktuatif. Hasil effluen yang fluktuatif ini dapat disebabkan oleh influen yang juga mengalami fluktuatif. Selain itu biomassa mikroorganisme yang diduga ikut keluar menuju effluen (*wash-out*) juga mempengaruhi nilai TSS. Hal ini juga disebutkan oleh Gunandjar, dkk., (2010) yang menyatakan bahwa semakin lama waktu proses pengolahan maka biomassa yang dihasilkan oleh sel mikroba semakin banyak.

Berdasarkan hasil analisa parameter COD, TSS dan BOD tersebut dapat diperoleh nilai *removal* untuk setiap parameter. Nilai removal untuk setiap parameter dapat dilihat pada Grafik *removal* untuk setiap parameter dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Berdasarkan grafik removal untuk setiap parameter pencemar pada waktu detensi 36 jam dan ketinggian media 122 cm terlihat removal COD dan BOD terlihat stabil dan menunjukkan peningkatan seiring dengan pertambahan hari. Sedangkan pada parameter TSS terlihat nilai removal yang fluktuatif. Hasil fluktuatif pada parameter TSS ini dapat disebabkan oleh kualitas influen yang juga mengalami fluktuatif sehingga mempengaruhi pada kualitas effluen yang juga mengalami fluktuatif. Selain itu, semakin lama waktu proses yang

menyebabkan sel mikroba menghasilkan biomassa lebih banyak juga mempengaruhi pada hasil nilai TSS yang semakin besar. Hal ini menyebabkan nilai *removal* pada parameter TSS menurun. Nilai *removal* TSS rata-rata yang diperoleh oleh variabel media dengan waktu detensi 36 jam dan ketinggian 122 cm ini mencapai 76,61 persen. Sedangkan nilai *removal* maksimumnya diperoleh pada hari ketiga yang nilai *removal* nya mencapai 92,31 persen.



Gambar 4. 7 Removal Pada Waktu Detensi 36 Jam dan Media 122 cm

Pada parameter COD terlihat nilai *removal* yang mengalami peningkatan hampir setiap harinya. Kecuali pada hari kelima sedikit mengalami penurunan. Penurunan nilai *removal* ini dapat disebabkan oleh kualitas influen yang fluktuatif sehingga mempengaruhi kinerja mikroorganisme dalam reaktor. Selain perubahan kualitas influen dapat disebabkan oleh penyumbatan yang terjadi di dalam reaktor (*clogging*) sehingga kecepatan aliran keatas dalam reaktor menurun. Hal ini dapat menyebabkan kinerja mikroorganisme menjadi tidak efektif saat penyesuaian kecepatan aliran keatas di dalam reaktor disesuaikan kembali seperti seharusnya. Namun hal ini tidak memberikan perubahan nilai *removal* yang cukup signifikan seperti yang terlihat pada Gambar 4.7. Setelah terjadi penurunan nilai *removal* COD pada

hari kelima terlihat terjadi peningkatan kembali pada *removal* COD. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja mikroorganisme di dalam reaktor sudah kembali efektif. Nilai *removal* COD rata-rata yang diperoleh oleh variabel media dengan waktu detensi 36 jam dan ketinggian 122 cm ini mencapai 80,6 persen. Sedangkan nilai *removal* maksimumnya diperoleh pada hari ketujuh yang nilai *removal* nya mencapai 90 persen.

Begitu pula pada parameter BOD, terlihat pada Gambar 4.7 nilai *removal* BOD mengalami peningkatan hampir setiap harinya. Kecuali pada hari kedua dan hari kelima mengalami sedikit penurunan. Seperti halnya pada parameter COD, penyebab menurunnya nilai *removal* BOD dapat disebabkan oleh perubahan kualitas influen yang fluktuatif serta kemungkinan terjadinya penyumbatan di dalam reaktor yang menyebabkan kinerja mikroorganisme menjadi tidak efektif. Namun setelah hari kedua dan kelima terlihat terjadi peningkatan nilai *removal* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Hal ini menunjukkan kinerja mikroorganisme sudah kembali efektif sehingga nilai *removal* menunjukkan peningkatan. Nilai *removal* BOD rata-rata yang diperoleh oleh variabel media dengan waktu detensi 36 jam dan ketinggian 122 cm ini mencapai 89,91 persen. Sedangkan nilai *removal* maksimumnya diperoleh pada hari ketujuh yang nilai *removal* nya mencapai 95,89 persen.

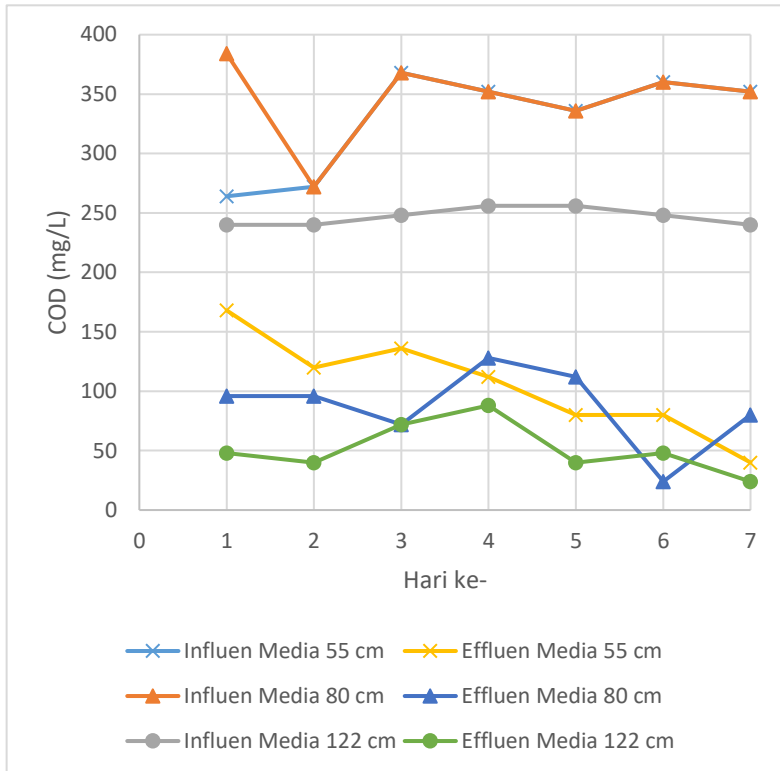
4.5 Pengaruh Ketebalan Media Pada *Anaerobic Filter*

Pada pengolahan limbah menggunakan *anaerobic filter*, peran media sebagai tempat hidup untuk mikroorganisme sangat besar. Semakin tebal media *anaerobic filter* diharapkan semakin banyak biomassa yang terbentuk. Hal ini dikarenakan semakin banyak tempat bagi mikroorganisme untuk hidup. Sehingga proses pendegradasian zat organik pada air limbah dapat berlangsung lebih cepat.

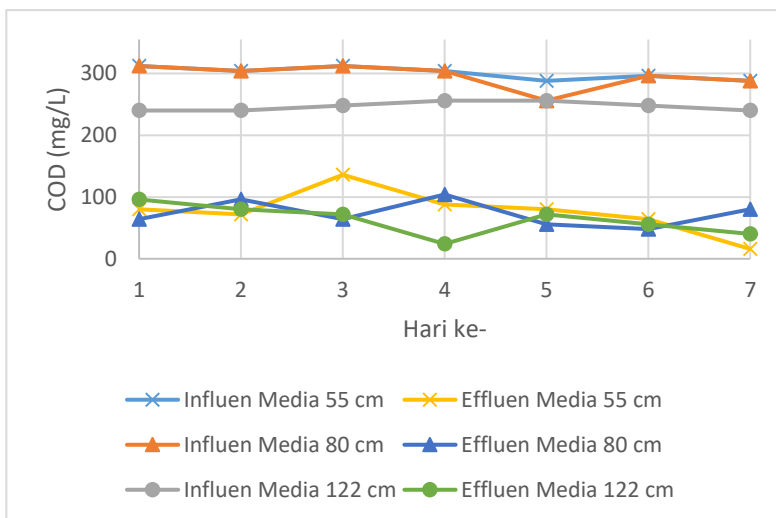
Berdasarkan hal tersebut dilakukan analisis pada media kulit kerang sebagai media *anaerobic filter* dengan variabel ketebalan media adalah 55, 80 dan 122 cm. Masing-masing dari ketinggian tersebut diuji cobakan pada waktu detensi 24, 30 dan 36 jam.

4.4.1 Pengaruh Pada Nilai COD

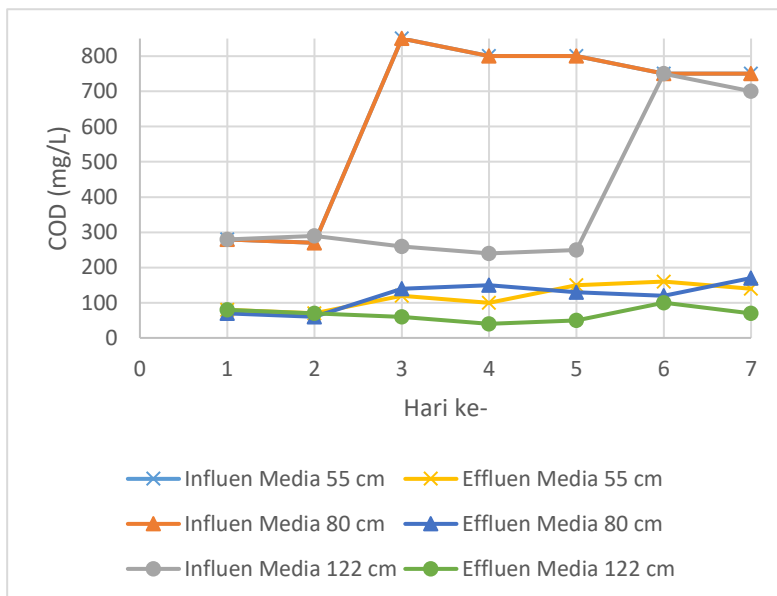
Berdasarkan variabel media yang telah dipilih, diperoleh hasil pengolahan air limbah yang diuji berdasarkan parameter COD, BOD dan TSS. Hasil analisa untuk parameter pencemar COD pada setiap variabel media dapat dilihat pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10.



Gambar 4. 8 Nilai COD pada Waktu Detensi 24 Jam



Gambar 4. 9 Nilai COD pada Waktu Detensi 30 Jam

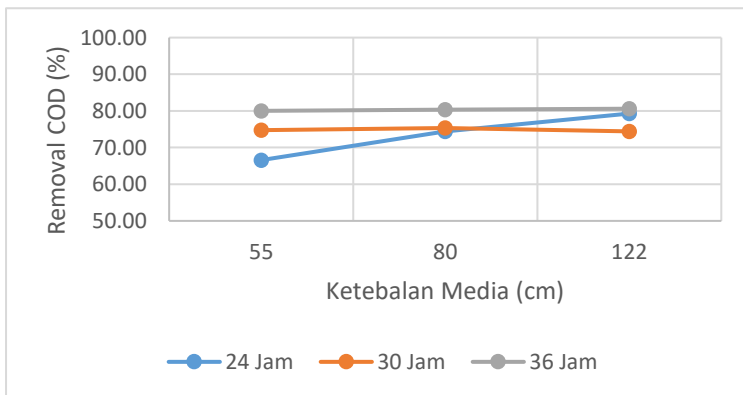


Gambar 4. 10 Nilai COD pada Waktu Detensi 36 Jam

Dari hasil yang diperoleh pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10, terlihat bahwa untuk masing-masing waktu detensi nilai COD baik influen maupun effluent mengalami fluktuatif. Fluktuatif pada kualitas influen ini disebabkan adanya aktivitas yang berbeda setiap harinya pada sumber air limbah. Selain itu perbedaan influen pada setiap variasi media disebabkan bak penampung pada reaktor yang digunakan berbeda. Perbedaan yang paling besar terlihat pada kualitas influen dengan waktu detensi 36 jam. Perbedaan yang cukup besar ini salah satunya disebabkan oleh kegiatan mencuci. Kandungan deterjen pada air limbah memberikan nilai kandungan zat organik yang cukup besar. Berdasarkan nilai COD tersebut, diperoleh nilai *removal* pada setiap variabel media. Nilai *removal* COD masing-masing media dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.11.

Tabel 4. 7 Nilai Removal COD Pada Setiap Variabel Media

Ketebalan Media (cm)	HRT (jam)		
	24	30	36
55	66.58	74.74	80.02
80	74.44	75.33	80.38
122	79.28	74.41	80.60



Gambar 4. 11 Removal COD Berdasarkan Ketebalan Media

Berdasarkan hasil analisa COD yang diperoleh, terlihat bahwa masing-masing variabel media menghasilkan efisiensi *removal* yang tidak cukup signifikan perbedaannya. Pada variabel media dengan ketebalan media 55 cm memiliki hasil efisiensi *removal* COD yang semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu detensinya. Sedangkan pada variabel media dengan ketebalan media 80 cm, menghasilkan efisiensi *removal* COD yang cukup stabil dengan perubahan yang tidak terlalu jauh (± 5 persen). Begitu pun dengan ketinggian media 122 cm, walaupun terjadi penurunan pada waktu detensi 30 jam, hasil efisiensi *removal* COD yang diperoleh masih dalam kondisi stabil dengan perubahan yang tidak terlalu jauh (± 5 persen).

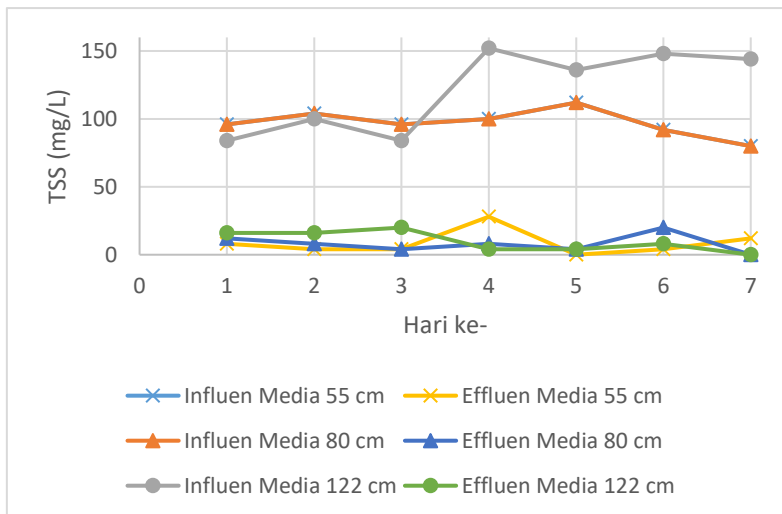
Menurunnya nilai *removal* ini dapat disebabkan oleh perubahan kualitas influen yang fluktuatif. Perubahan kualitas influen ini mempengaruhi kinerja dari biomassa di dalam reaktor. Hal ini dikarenakan dengan ketebalan media yang sama, beban organik yang harus diolah oleh biomassa mengalami fluktuatif sehingga kinerja dari biomassa tidak bisa efektif. Selain itu, adanya kemungkinan penyumbatan di dalam reaktor (*clogging*) dapat menjadi salah satu faktor menurunnya nilai *removal*. Hal ini dikarenakan penyumbatan di dalam reaktor menyebabkan berkurangnya kecepatan aliran keatas. Sehingga setelah dilakukan penyesuaian kecepatan aliran tersebut, zat organik maupun biomassa di dalam reaktor ikut keluar menuju effluent (*wash-out*).

Pada penelitian ini berdasarkan ketebalan media, reaktor dengan ketebalan media 122 cm memiliki nilai efisiensi *removal* yang mayoritas lebih tinggi dari ketebalan media lainnya. Sedangkan pada variabel media dengan ketebalan media 55 cm memiliki nilai efisiensi *removal* COD yang mayoritas paling rendah dari ketinggian media lainnya. Hal ini dapat terjadi karena semakin pendek tebal media maka tempat kontak mikroorganisme atau biomassa dengan substrat zat organik dalam air limbah semakin sedikit. Sehingga masih ada kandungan zat organik dalam air limbah yang ikut keluar menuju effluen. Hal ini juga disebutkan oleh Indromarsudi (2001) bahwa tebalnya media filter menjadi faktor yang dominan karena semakin tebal media filter maka kemungkinan semakin banyak jumlah biomassa yang tinggal di dalam reaktor.

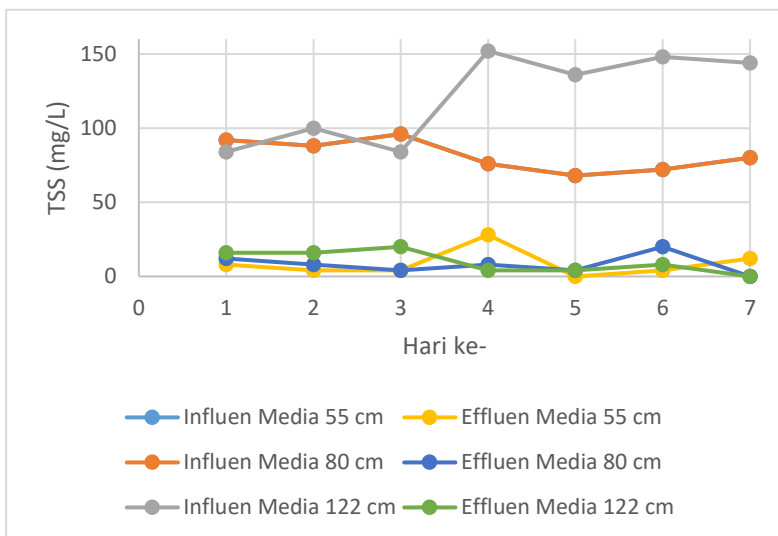
4.4.2 Pengaruh Pada Nilai TSS

Berdasarkan variabel media yang telah dipilih, diperoleh hasil pengolahan air limbah yang diuji berdasarkan parameter TSS. *Total Suspended Solid* (TSS) adalah padatan yang tertahan pada kertas saring dengan ukuran pori 1,5 μm dan diukur setelah dikeringkan pada suhu 105°C (Metcalf dan Eddy, 2003). Hasil analisa untuk parameter pencemar COD pada setiap variabel media dapat dilihat pada Gambar 4.12 hingga Gambar 4.14.

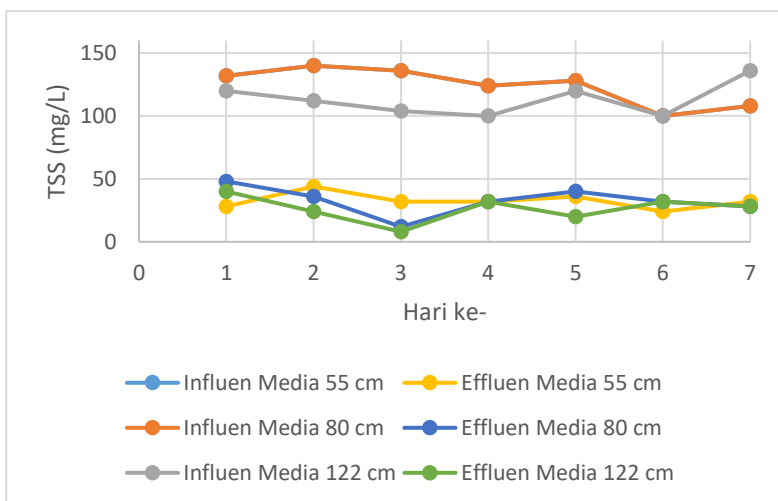
Berdasarkan hasil analisis TSS pada setiap variabel media, terlihat baik influen maupun effluent berada pada kondisi yang fluktuatif seperti pada Gambar 4.16 hingga Gambar 4.18. Fluktuatif pada kualitas influen ini disebabkan adanya aktivitas yang berbeda setiap harinya pada sumber air limbah. Aktivitas memasak, mencuci dan mandi di sumber air limbah sangat mempengaruhi kualitas TSS pada air limbah. Dari hasil analisis TSS diatas, diperoleh hasil *removal* TSS berdasarkan ketebalan media yang dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.15.



Gambar 4. 12 Nilai TSS pada Waktu Detensi 24 Jam



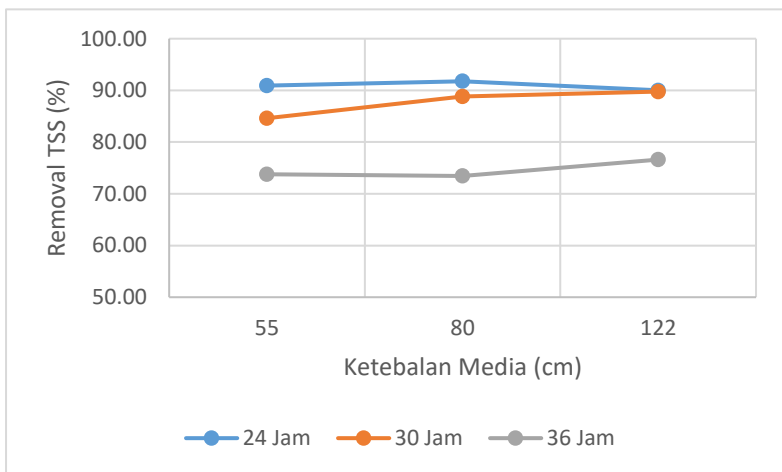
Gambar 4. 13 Nilai TSS pada Waktu Detensi 30 Jam



Gambar 4. 14 Nilai TSS pada Waktu Detensi 36 Jam

Tabel 4. 8 Nilai Removal TSS Pada Setiap Variabel Media

Ketebalan Media (cm)	HRT (Jam)		
	24	30	36
55	90.90	84.61	73.75
80	91.76	88.81	73.45
122	90.02	89.77	76.61



Gambar 4. 15 Removal TSS Berdasarkan Ketebalan Media

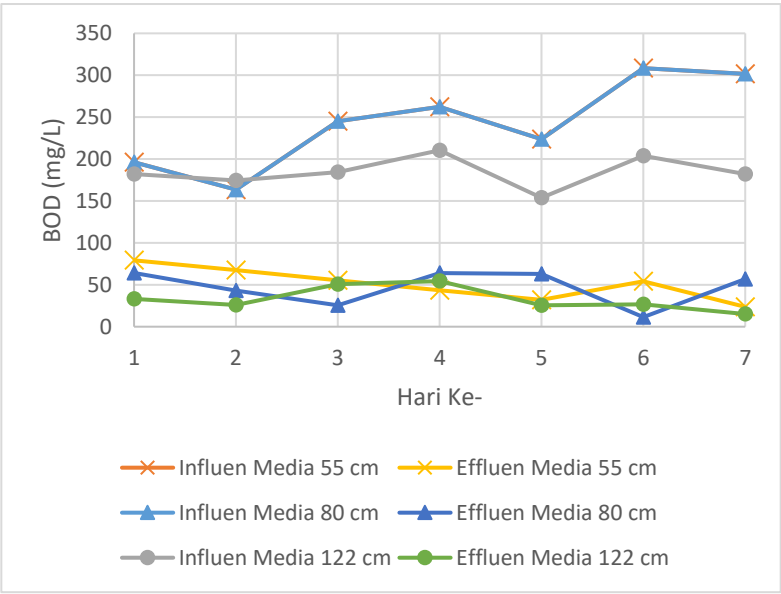
Berdasarkan hasil analisis *removal* TSS yang dilakukan, diperoleh bahwa semua variabel media dapat menurunkan konsentrasi TSS dalam air limbah dengan baik. Konsentrasi TSS yang dapat diturunkan mencapai lebih dari 70 persen. Walaupun berdasarkan ketebalan media yang sama, semakin besar waktu detensinya semakin kecil nilai *removal* yang diperoleh.

Menurunnya nilai *removal* TSS seiring dengan waktu detensinya dikarenakan semakin lama waktu proses pengolahan air limbah maka semakin banyak biomassa yang terbentuk (Gunandjar,dkk., 2010). Sehingga kemungkinan biomassa ikut keluar menuju effluent semakin besar. Hasilnya konsentrasi TSS pada effluent semakin tinggi. Menurut Anggraeni,dkk., (2013),

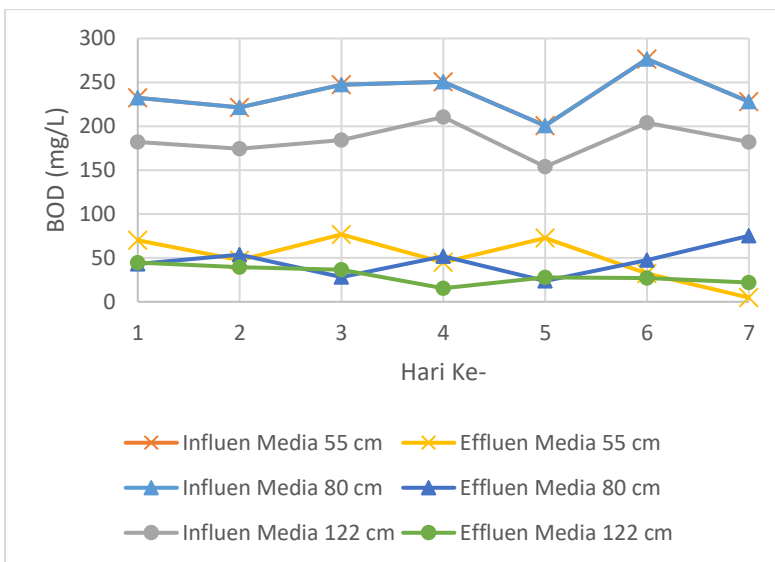
peningkatan nilai TSS berarti terjadi aktivitas mikroorganisme yang semakin tinggi sehingga menyebabkan banyaknya padatan terlarut dalam air limbah. Nilai efisiensi *removal* TSS yang paling tinggi dicapai oleh variabel media dengan ketinggian media 80 cm pada waktu detensi 24 jam.

4.4.3 Pengaruh Pada Nilai BOD

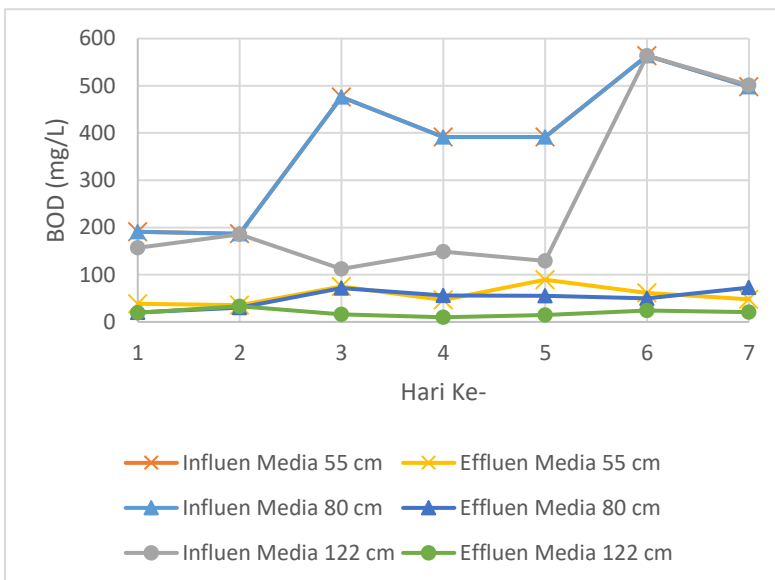
Berdasarkan variabel media yang telah dipilih, diperoleh hasil pengolahan air limbah yang diuji berdasarkan parameter COD, BOD dan TSS. Hasil analisa untuk parameter pencemar COD pada setiap variabel media dapat dilihat pada Gambar 4.16 hingga Gambar 4.18.



Gambar 4. 16 Nilai BOD pada Waktu Detensi 24 Jam



Gambar 4. 17 Nilai BOD pada Waktu Detensi 30 Jam

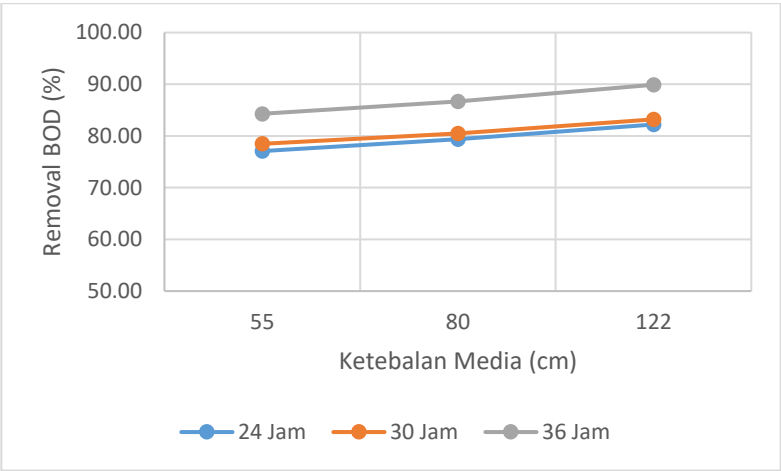


Gambar 4. 18 Nilai BOD pada Waktu Detensi 36 Jam

Dari hasil yang diperoleh pada Gambar 4.16 hingga Gambar 4.18, terlihat bahwa untuk masing-masing waktu detensi nilai BOD baik influen maupun effluent mengalami fluktuatif. Fluktuatif pada kualitas influen ini disebabkan adanya aktivitas yang berbeda setiap harinya pada sumber air limbah. Sama halnya dengan kondisi pada parameter COD, perbedaan yang paling besar terlihat pada kualitas influen dengan waktu detensi 36 jam. Perbedaan yang cukup besar ini salah satunya disebabkan oleh kegiatan mencuci. Berdasarkan nilai BOD tersebut, diperoleh nilai *removal* pada setiap variabel media. Nilai *removal* BOD masing-masing media dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.19.

Tabel 4. 9 Nilai Removal BOD pada Setiap Variabel Media

Ketebalan Media (cm)	HRT (Jam)		
	24	30	36
55	77.08	78.49	84.29
80	79.39	80.47	86.68
122	82.22	83.21	89.91



Gambar 4.19 Removal BOD Berdasarkan Ketebalan Media

Berdasarkan hasil analisa BOD yang diperoleh, terlihat bahwa masing-masing variabel media menghasilkan efisiensi *removal* yang tidak cukup signifikan perbedaannya. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.23 dengan ketebalan media yang sama hasil efisiensi *removal* BOD semakin meningkat seiring meningkatnya waktu detensinya. Masing-masing variabel media menghasilkan efisiensi *removal* COD yang cukup stabil dengan perubahan yang tidak terlalu jauh (± 5 persen).

Meningkatnya nilai *removal* ini disebabkan oleh adanya aktivitas mikrobiologis di dalam reaktor. Zat organik yang terkandung dalam air limbah didegradasi oleh sel mikroba di dalam reaktor sehingga konsentrasi zat organik berkurang. Hal ini juga di dukung oleh Anggraeni, dkk., (2013), semakin banyak jumlah mikroorganisme di dalam reaktor untuk mendegradasi air limbah maka nilai BOD akan semakin turun. Kebanyakan mikroorganisme yang terdapat pada limbah organik adalah bakteri kemoheterotrof yang menggunakan bahan organik sebagai sumber energi dan karbon. Bakteri ini berperan penting dalam penanganan air limbah karena dapat mendegradasi bahan organik (Doraja, dkk., 2012).

Nilai BOD/COD influen air limbah mencapai 0,8. Hal ini menunjukkan bahwa air limbah *grey water* yang digunakan sangat cocok untuk diolah secara biologis, Penurunan konsentrasi BOD pada penelitian ini terlihat sangat baik dengan nilai *removal* BOD rata-rata mencapai 82 persen.

Pada penelitian ini berdasarkan ketinggian media, reaktor dengan ketinggian media 122 cm memiliki nilai efisiensi *removal* yang mayoritas lebih tebal dari ketebalan media lainnya. Sedangkan pada variabel media dengan ketinggian media 55 cm memiliki nilai efisiensi *removal* BOD yang mayoritas paling rendah dari ketebalan media lainnya. Seperti halnya pada parameter COD, hal ini dapat terjadi karena semakin pendek tebal media maka tempat kontak mikroorganisme atau biomassa dengan substrat zat organik dalam air limbah semakin sedikit. Sehingga masih ada kandungan zat organik dalam air limbah yang ikut keluar menuju effluen . Hal ini juga disebutkan oleh Indromarsudi (2001) bahwa tebalnya media filter menjadi faktor yang dominan karena semakin tebal media filter maka

kemungkinan semakin banyak jumlah biomassa yang tinggal di dalam reaktor.

Berdasarkan analisis parameter COD, TSS dan BOD yang telah dilakukan, hasil analisis menunjukkan pada ketebalan media 80 cm dan 122 cm tidak memiliki perbedaan nilai removal yang cukup signifikan. Nilai removal parameter pencemar antara kedua tebal media tersebut hampir memiliki nilai yang sama. Sehingga penggunaan media dengan tebal 80 cm ini dianggap lebih efektif dibandingkan dengan tebal media 122 cm. Keefektifan penggunaan media dengan tebal 80 cm ini diharapkan pada sektor biaya pembangunan maupun operasional akan lebih murah dibandingkan dengan tebal media 122 cm.

4.6 Pengaruh Waktu Detensi Pada *Anaerobic Filter*

Analisis waktu detensi (*Empty Bed Contact Time*) pada *Anaerobic Filter* dilakukan berdasarkan ketinggian medianya yaitu 55, 80 dan 122 cm. Waktu detensi yang digunakan pada penelitian ini adalah 24, 30 dan 36 jam. Waktu detensi ini didasarkan pada kriteria desain menurut PERMENPUPR No.4 Tahun 2017, dimana waktu detensi yang dibutuhkan oleh *Anaerobic Filter* berkisar 0,5 hingga 4 hari. Semakin lama waktu detensi yang digunakan diharapkan akan menurunkan konsentrasi parameter pencemar semakin tinggi. Hal ini dikarenakan waktu kontak antara air limbah dengan sel mikroba pada media semakin panjang. Sehingga hasil proses pendegradasian kandungan zat organik pada air limbah akan semakin tinggi. Parameter pencemar yang diujikan pada penelitian ini adalah parameter COD, BOD dan TSS.

4.6.1 Pengaruh Pada Nilai COD

Berdasarkan hasil analisa nilai COD pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10 didapatkan nilai *removal* COD yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.11.

Berdasarkan hasil analisis COD dengan waktu detensi yang telah ditentukan, terlihat semua variabel media dapat menurunkan konsentrasi COD pada air limbah dengan baik. Perolehan efisiensi *removal* COD rata-rata mencapai 76 persen.

Pada waktu detensi 24 jam, efisiensi *removal* COD meningkat secara signifikan seiring dengan pertambahan ketebalan media. Berbeda dengan waktu detensi 30 dan 36 jam yang hasil efisiensi *removal* COD nya cenderung stabil. Hal ini terlihat pada Gambar 4.24 bahwa tidak ada perubahan efisiensi *removal* COD yang signifikan pada waktu detensi 30 dan 36 jam.

Tercapainya *removal* COD yang cukup baik ini mungkin disebabkan kondisi biomassa dalam reaktor yang telah stabil dan juga karena karakteristik limbah yang bersifat soluble. Sehingga lebih mudah untuk di degradasi oleh mikroorganisme di dalam reaktor.

Hasil penelitian ini menunjukkan semakin lama waktu kontak antara air limbah dengan biomassa, semakin tinggi zat organik yang dapat diturunkan oleh sel mikroorganisme di dalam reaktor. Kecepatan aliran air ke atas yang digunakan cukup rendah sehingga memungkinkan biomassa untuk tetap tinggal dalam reaktor dan mengecilkan kemungkinan akan terjadi *washout*. Berdasarkan PERMENPUPR No.4 Tahun 2017, kecepatan aliran ke atas harus tidak lebih dari 2,8 m/hari.

4.6.2 Pengaruh Pada Nilai TSS

Berdasarkan hasil analisa nilai TSS pada Gambar 4.12 hingga Gambar 4.14 didapatkan nilai *removal* TSS yang dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.15.

Berdasarkan hasil analisis *removal* TSS yang dilakukan, diperoleh bahwa semua variabel media dapat menurunkan konsentrasi TSS dalam air limbah dengan baik. Konsentrasi TSS yang dapat diturunkan mencapai lebih dari 70 persen. Walaupun berdasarkan ketinggian media yang sama, semakin besar waktu detensinya semakin kecil nilai *removal* yang diperoleh. Sedangkan pada waktu detensi yang sama, hasil *removal* TSS yang diperoleh cenderung stabil seperti yang terlihat pada Gambar 4.15 Pada waktu detensi 24 jam dan 36 jam tidak terlihat perbedaan yang cukup signifikan. Begitu pun dengan waktu detensi 30 jam, walaupun menunjukkan peningkatan seiring dengan pertambahan ketebalan media. Namun, hasil yang diperoleh masih dapat dianggap konstan karena perubahannya tidak lebih dari 5 persen (Nurhayati, 2001).

Menurunnya nilai *removal* TSS seiring dengan waktu detensinya dikarenakan semakin lama waktu proses pengolahan air limbah maka semakin banyak biomassa yang terbentuk (Gunandjar,dkk., 2010). Sehingga kemungkinan biomassa ikut keluar menuju effluent semakin besar. Hasilnya konsentrasi TSS pada effluent semakin tinggi. Menurut Anggraeni,dkk., (2013), peningkatan nilai TSS berarti terjadi aktivitas mikroorganisme yang semakin tinggi sehingga menyebabkan banyaknya padatan terlarut dalam air limbah.

4.6.3 Pengaruh Pada Nilai BOD

Berdasarkan hasil analisa nilai COD pada Gambar 4.16 hingga Gambar 4.18 didapatkan nilai *removal* COD yang dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.19.

Berdasarkan hasil analisa BOD yang diperoleh, terlihat bahwa masing-masing variabel media menghasilkan efisiensi *removal* yang tidak cukup signifikan perbedaannya. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.19 dengan waktu detensi yang sama hasil efisiensi *removal* BOD semakin meningkat seiring meningkatnya ketebalan media. Masing-masing variabel media menghasilkan efisiensi *removal* COD yang cukup stabil dengan perubahan yang tidak terlalu jauh (± 5 persen).

Meningkatnya nilai *removal* ini disebabkan oleh adanya aktivitas mikrobiologis di dalam reaktor. Zat organik yang terkandung dalam air limbah didegradasi oleh sel mikroba di dalam reaktor sehingga konsentrasi zat organik berkurang. Hal ini juga di dukung oleh Anggraeni, dkk., (2013), semakin banyak jumlah mikroorganisme di dalam reaktor untuk mendegradasi air limbah maka nilai BOD akan semakin turun. Kebanyakan mikroorganisme yang terdapat pada limbah organik adalah bakteri kemoheterotrof yang menggunakan bahan organik sebagai sumber energi dan karbon. Bakteri ini berperan penting dalam penanganan air limbah karena dapat mendegradasi bahan organik (Doraja, dkk., 2012).

Nilai BOD/COD influen air limbah mencapai 0,8. Hal ini menunjukkan bahwa air limbah *grey water* yang digunakan sangat cocok untuk diolah secara biologis, Penurunan konsentrasi BOD pada penelitian ini terlihat sangat baik dengan nilai *removal* BOD rata-rata mencapai 82 persen.

Pada penelitian ini berdasarkan waktu detensinya, reaktor dengan waktu detensi 36 jam memiliki nilai efisiensi *removal* yang mayoritas lebih tinggi dari ketinggian media lainnya. Sedangkan pada variabel media dengan waktu detensi 24 jam memiliki nilai efisiensi *removal* BOD yang mayoritas paling rendah dari ketinggian media lainnya. Seperti halnya pada parameter COD, hal ini dapat terjadi karena semakin pendek waktu tinggal air limbah maka waktu kontak mikroorganisme atau biomassa dengan substrat zat organik dalam air limbah semakin sedikit. Sehingga masih ada kandungan zat organik dalam air limbah yang ikut keluar menuju effluen.

4.7 Produksi Gas Metan

Pada proses anaerobik terdapat tahap metanogenesis yang merupakan tahap pengonversian asam asetat atau reduksi karbon dioksida oleh hydrogen dengan menggunakan bakteri *acetotrophic* dan *hidrogenotrophic* (Indromarsudi, 2001). Potensi produksi gas metan dari limbah tergantung pada konsentrasi bahan organik (COD) di dalamnya dan efisiensi pengolahan.

Pada penelitian ini, reaktor diberikan indikator gas metan berupa balon setelah reaktor mencapai kondisi *steady state*. Tidak dilakukan pengukuran secara pasti di lapangan pada gas metan yang dihasilkan pada setiap reaktor. Namun, selama penelitian berlangsung tidak terlihat indikator balon mengembang. Hal ini dapat dikarenakan beban organik yang masuk ke dalam reaktor terlalu kecil untuk dapat mengembangkan indikator balon. Sehingga gas metan yang dihasilkan hanya mampu mengisi ruang kosong di dalam reaktor. Tabel 4.10 merupakan hasil perhitungan secara teoritis produksi gas metan yang dihasilkan di dalam reaktor.

Tabel 4. 10 Perhitungan Produksi Gas dalam L/hari

HRT (Jam)	MEDIA (cm)		
	55	80	122
24	1.69	1.96	2.10
30	1.92	2.11	2.32
36	3.97	4.02	4.05

4.8 Uji Statistik

Analisis uji statistik dilakukan untuk menyimpulkan hasil eksperimen. Teknik analisis yang digunakan adalah ANOVA (*Analysis of Variance*). Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui interaksi antar variabel dan pengaruhnya terhadap suatu perlakuan. Pada penelitian ini dilakukan uji ANOVA jenis *one way*. *One way* ANOVA digunakan jika suatu eksperimen mempunyai satu variabel terikat dan satu variabel bebas. Hasil dari uji ini adalah jika:

$P\text{-value} > 0,05 \rightarrow H_0$ diterima (varian adalah sama)

$P\text{-value} < 0,05 \rightarrow H_0$ ditolak (varian adalah beda)

Sehingga dapat ditarik kesimpulan/nilai probabilitas (signifikansi), misal jika $P\text{-value} > 0,05$ menghasilkan varian sama atau tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Pada penelitian ini telah diuji parameter COD, TSS dan BOD pada setiap variabel tebal media dan waktu detensi. Hasil dari removal parameter yang diujikan kemudian diuji dengan ANOVA *one way*. Uji ANOVA *one way* ini menggunakan SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*).

Berdasarkan uji ANOVA *one way* yang telah dilakukan, hasilnya menunjukkan bahwa tebal media tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap parameter pencemar yang diujikan. Nilai $P\text{-value}$ atau signifikansi yang didapatkan lebih dari 0,05. Sedangkan pada waktu detensi menunjukkan hasil pengaruh yang signifikan pada parameter TSS. Sedangkan pada parameter COD dan BOD tidak menunjukkan hasil pengaruh yang signifikan. Pengaruh yang signifikan dari waktu detensi pada parameter TSS menunjukkan semakin lama waktu detensi semakin tinggi nilai TSS yang keluar menuju effluen. Hasil uji ANOVA *one way* yang telah dilakukan dapat dilihat pada Lampiran E.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kinerja kulit kerang dalam menurunkan parameter COD yang paling baik adalah reaktor dengan tebal media 122 cm dan waktu detensi 36 jam dengan removal 80,6 persen. Begitupun dengan parameter BOD, reaktor dengan kinerja paling baik adalah reaktor dengan tebal media 122 cm dan waktu detensi 36 jam dengan removal 89,91 persen. Sedangkan untuk parameter TSS, reaktor dengan kinerja paling baik adalah reaktor dengan tebal media 80 cm dan waktu detensi 24 jam dengan 76,61 persen.
2. Ketebalan media kulit kerang tidak memiliki pengaruh yang signifikan dalam mengolah air limbah domestik pada proses *anaerobic filter* untuk semua parameter pencemar yang diujikan. Namun, secara umum pada ketebalan media 122 cm menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan tebal media 55 cm dan 80 cm.
3. Waktu detensi atau waktu tinggal hidrolis (*Empty Bed Contact Time*) memiliki pengaruh yang signifikan dalam mengolah air limbah domestik pada proses *anaerobic filter* yaitu pada parameter TSS. Sedangkan untuk parameter COD dan BOD tidak memiliki pengaruh yang signifikan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diusulkan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Penelitian menggunakan influen dengan beban organik yang sama sehingga perbandingan antar variasi yang didapatkan lebih tepat
2. Penelitian menggunakan variasi diameter limbah kulit kerang untuk melihat pengaruh diameter media
3. Dilakukan analisis kesadahan pada hasil air pengolahan karena kandungan kalsium karbonat pada media

4. Pengamatan jangka waktu kulit kerang dapat digunakan sebagai media *anaerobic filter*

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad Anugerah S, I. 2015. "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Bulu Sebagai Adsorben Untuk Menjerap Logam Kadmium (II) dan Timbal (II)". **Jurnal Teknik Kimia USU, 4(3)**.
- Amri, Khusnul dan Wesen, Putu. 2015. "Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerob Bermedia Plastik (*Bioball*)". **Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan, Vol. 7, Nomor 2**.
- Anggraeni, D., Sutanhaji, A.T., Rahadi, B. 2013. "Pengaruh Volume Lumpur Aktif dengan Proses Kontak Stabilisasi pada Efektivitas Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Ikan". **Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan**.
- Benefield, Larry D dan Randall, Clifford W. 1980. **Biological Process Design for Wastewater Treatment. United States of America: Prentice-Hall**.
- Dahab, Mohamed Fitri. 1982. "Effects of Media Design on Anaerobic Filter Performance". **Retrospective Theses and Dissertations**
- Deviyantje, Vivien. 2000. Studi Kinerja *Upflow Anaerobic Biofilter* Menggunakan Media Pecahan Genteng Untuk Penurunan COD dan TSS pada Genangan Lindi LPA Keputih Surabaya. Tugas Akhir Teknik Lingkungan, ITS.
- Doraja, P.H., Shovitri, M., Kuswyasari, N.D. 2012. "Biodegradasi Limbah Domestik dengan Menggunakan Inokulum Alami dari Tangki Septik". **Jurnal Sains dan Seni ITS Vol. 1, No.1**.
- Effendi, Zainal. 2016. Pesisir Bulak akan Jadi Kampung Wisata, Limbah Kerang Masih Jadi Masalah. Detik (Surabaya), 25 Maret.
- Fachrurozi, M., Listiatie B. U., Dyah S. 2010. "Pengaruh Variasi Biomassa *Pistia stratiotes* L. Terhadap Penurunan Kadar BOD, COD dan TSS Limbah Cair Tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta". **Jurnal Fakultas Kesehatan Masyarakat, Volume 4, Nomor 1**.
- Faizal, Achmad. 2017. Nelayan Pantai Kenjeran Kesulitan Buang Limbah Kulit Kerang. Kompas (Surabaya), 10 Februari.

- Gunandjar, dkk. 2010. "Proses Oksidasi Biokimia Untuk Pengolahan Limbah Simulasi Cair Organik Radioaktif". **JFN, Vol. 4, No.1**.
- Harju, Vilhelmiina. 2010. Assembling and Testing of Laboratory Scale Grey Water Treatment System. Thesis Environmental Engineering, Tampere University of Applied Sciences.
- Indromarsudi, Listio. 2001. Uji Penurunan Beban Organik Limbah Cair Berkadar Organik Rendah dengan *Hybrid Upflow Anaerobic Filter* Bermedia Pecahan Genting. Tugas Akhir Teknik Lingkungan, ITS.
- Indriyati, I. 2011. "Unjuk Kerja Reaktor Anaerob Lekat Diam Terendam dengan Media Penyangga Potongan Bambu". **Jurnal Teknologi Lingkungan, 8(3)**.
- Jo, Y., Kim, J., & Lee, C. 2016. "Continuous Treatment of Dairy Effluent In A Downflow Anaerobic Filter Packed with Slag Grains: Reactor Performance and Kinetics". **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 68, 147–152**.
- Kurniasih, D., Rahmat, M. B., Handoko, C. R., & Arfianto, A. Z. 2017. "Pembuatan Pakan Ternak dari limbah Cangkang Kerang di Desa Bulak Kenjeran Surabaya". **Seminar MASTER PPNS (Vol. 2, pp. 159–164)**.
- Ladu, John L C dan Lu, Xi-wu. 2014. "Effects of Hydraulic Retention Time, Temperature, and Effluent Recycling On Efficiency of Anaerobic Filter in Treating Rural Domestik Wastewater". **Water Science and Engineering, 7(2): 168 - 182**.
- Liu, Yao-Xing, dkk., 2010. "Study of Municipal Wastewater Treatment with Oyster Shell as Biological Aerated Filter Medium". **Desalination 254, Hal 149-153**.
- Malina, Joseph F Jr dan Pohland, F G. 1992. **Design of Anaerobic Processes For The Tretamen of Industrial and Municipal Waste**. United States of America: Technomic
- Marleni, Ni Nyoman N. 2000. Studi Penurunan Kandungan Organik dan Warna pada Limbah Tekstil Sintetis dengan Menggunakan *Upflow Anaerobic Filter*. Tugas Akhir Teknik Lingkungan, ITS.

- Metcalf dan Eddy, I. 2003. **Wastewater Engineering: Treatment and Resources Recovery, Fifth Edition**. New York: Mc Graw Hill.
- Nursetyo, Prisma, Prayatni S., Marisa H. 2015. "Kinerja *Upflow Anaerobic Fixed Bed Reactor* dengan Media Penunjang Batu Apung dalam Penyisihan Organik dan Pembentukan Biogas dari Biowaste Fase Cair". **Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan 10(4): 148**.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68**. 2016. Baku Mutu Limbah Domestik
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4**. 2017. Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik
- Radityaningrum, A. D., & Kusuma, M. N. 2017. "Perbandingan Kinerja Media Biofilter Anaerobic Filter Dalam Penurunan TSS, BOD, COD Pada Grey Water". **Jukung Jurnal Teknik Lingkungan, 3(2): 25-34**.
- Said, Nusa I. 2010. "Teknologi Biofilter Anaerob-Aerob Tercelup Untuk Pengolahan Air Limbah Domestik". **Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT**.
- Rodiyanti, Triyono S, Haryono N. 2015. Kinetika Filtrasi Limbah Cair Industri Tahu dengan Menggunakan Biofilter Media Zeolit. **Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol.3, No.3: 239-244**.
- Said, Nusa Idaman. 2005. "Tinjauan Aspek Teknis Pemilihan Media Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah". **JAI Vol.1, No. 3**.
- Samatha, Dissa dan Effendi, Jatnika. 2010. "Pengaruh Frekuensi dan Waktu *Backwash* Membran Terhadap Peningkatan Biomassa Pada Bioreaktor Membran". **Jurnal Teknik Lingkungan Vol.16, No.2 (115-124)**.
- Sasse, Ludwig. 1998. **DEWATS: Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries**. Belgium: BORDA
- Suoth, A. E., & Nazir, E. 2016. "Karakteristik Air Limbah Rumah Tangga (Grey Water) Pada Salah Satu Perumahan Menengah Keatas yang Berada di Tangerang Selatan". **Jurnal Ecolab, 10(2), 80-88**.

Titiresmi dan Sopiah, N. 2006. "Teknologi Biofilter untuk Pengolahan Limbah Ammonia". **Jurnal Teknik Lingkungan Vol. 7, No.2.**

LAMPIRAN A

DATA HASIL PENELITIAN

1. Data Nilai COD
 - a. Waktu Detensi 24 Jam
 - Tebal Media 55 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	264	168	36.36
2	272	120	55.88
3	368	136	63.04
4	352	112	68.18
5	336	80	76.19
6	360	80	77.78
7	352	40	88.64
RATA-RATA			66.58

- Tebal Media 80 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	384	96	75.00
2	272	96	64.71
3	368	72	80.43
4	352	128	63.64
5	336	112	66.67
6	360	24	93.33
7	352	80	77.27
RATA-RATA			74.44

- Tebal Media 122 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	240	48	80.00
2	240	40	83.33
3	248	72	70.97
4	256	88	65.63
5	256	40	84.38
6	248	48	80.65
7	240	24	90.00
RATA-RATA			79.28

- b. Waktu Detensi 30 Jam

- Tebal Media 55 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	312	80	74.36
2	304	72	76.32
3	312	136	56.41
4	304	88	71.05
5	288	80	72.22
6	296	64	78.38
7	288	16	94.44
RATA-RATA			74.74

- Tebal Media 80 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	312	64	79.49
2	304	96	68.42
3	312	64	79.49
4	304	104	65.79
5	256	56	78.13
6	296	48	83.78
7	288	80	72.22
RATA-RATA			75.33

- Tebal Media 122 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	240	96	60.00
2	240	80	66.67
3	248	72	70.97
4	256	24	90.63
5	256	72	71.88
6	248	56	77.42
7	240	40	83.33
RATA-RATA			74.41

c. Waktu Detensi 36 Jam

- Tebal Media 55 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	280	80	71.43
2	270	70	74.07
3	850	120	85.88
4	800	100	87.50
5	800	150	81.25
6	750	160	78.67
7	750	140	81.33
RATA-RATA			80.02

- Tebal Media 80 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	280	70	75.00
2	270	60	77.78
3	850	140	83.53
4	800	150	81.25
5	800	130	83.75
6	750	120	84.00
7	750	170	77.33
RATA-RATA			80.38

- Tebal Media 122 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	280	80	71.43
2	290	70	75.86
3	260	60	76.92
4	240	40	83.33
5	250	50	80.00
6	750	100	86.67
7	700	70	90.00
RATA-RATA			80.60

2. Data Nilai TSS
 - a. Waktu Detensi 24 Jam

- Tebal Media 55 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	96	8	91.67
2	104	4	96.15
3	96	4	95.83
4	100	28	72.00
5	112	0	100.00
6	92	4	95.65
7	80	12	85.00
RATA-RATA			90.90

- Tebal Media 80 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	96	12	87.50
2	104	8	92.31
3	96	4	95.83
4	100	8	92.00
5	112	4	96.43
6	92	20	78.26
7	80	0	100.00
RATA-RATA			91.76

- Tebal Media 122 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	84	16	80.95
2	100	16	84.00
3	84	20	76.19
4	152	4	97.37
5	136	4	97.06
6	148	8	94.59
7	144	0	100.00
RATA-RATA			90.02

b. Waktu Detensi 30 Jam

- Tebal Media 55 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	92	16	82.61
2	88	16	81.82
3	96	32	66.67
4	76	4	94.74
5	68	16	76.47
6	72	0	100.00
7	80	8	90.00
RATA-RATA			84.61

- Tebal Media 80 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	92	8	91.30
2	88	16	81.82
3	96	28	70.83
4	76	8	89.47
5	68	8	88.24
6	72	0	100.00
7	80	0	100.00
RATA-RATA			88.81

- Tebal Media 122 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	84	12	85.71
2	100	16	84.00
3	84	16	80.95
4	152	16	89.47
5	136	16	88.24
6	148	0	100.00
7	144	0	100.00
RATA-RATA			89.77

- c. Waktu Detensi 36 Jam

- Tebal Media 55 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	132	28	78.79
2	140	44	68.57
3	136	32	76.47
4	124	32	74.19
5	128	36	71.88
6	100	24	76.00
7	108	32	70.37
RATA-RATA			73.75

- Tebal Media 80 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	132	48	63.64
2	140	36	74.29
3	136	12	91.18
4	124	32	74.19
5	128	40	68.75
6	100	32	68.00
7	108	28	74.07
RATA-RATA			73.45

- Tebal Media 122 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	120	40	66.67
2	112	24	78.57
3	104	8	92.31
4	100	32	68.00
5	120	20	83.33
6	100	32	68.00
7	136	28	79.41
RATA-RATA			76.61

3. Data Nilai BOD

a. Waktu Detensi 24 Jam

- Tebal Media 55 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	196.27	79.20	59.65
2	163.55	67.39	58.79
3	245.28	55.33	77.44
4	262.45	43.60	83.39
5	223.78	32.03	85.69
6	308.45	54.21	82.43
7	301.54	23.68	92.15
RATA-RATA			77.08

- Tebal Media 80 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	196.27	63.98	67.40
2	163.55	43.15	73.62
3	245.28	25.39	89.65
4	262.45	64.00	75.61
5	223.78	62.78	71.94
6	308.45	11.42	96.30
7	301.54	56.67	81.21
RATA-RATA			79.39

- Tebal Media 122 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	182.02	33.12	81.80
2	174.43	26.05	85.07
3	184.24	50.78	72.44
4	210.50	54.40	74.16
5	153.82	25.46	83.45
6	203.84	26.64	86.93
7	182.02	15.12	91.69
RATA-RATA			82.22

- b. Waktu Detensi 30 Jam

- Tebal Media 55 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	232.37	70.22	69.78
2	221.54	47.47	78.57
3	247.20	76.74	68.96
4	250.43	44.88	82.08
5	200.64	72.69	63.77
6	276.59	32.21	88.36
7	228.00	4.78	97.90
RATA-RATA			78.49

- Tebal Media 80 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	232.37	42.94	81.52
2	221.54	53.57	75.82
3	247.20	28.30	88.55
4	250.43	51.71	79.35
5	200.64	23.74	88.17
6	276.59	47.52	82.82
7	228.00	75.15	67.04
RATA-RATA			80.47

- Tebal Media 122 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	182.02	44.64	75.47
2	174.43	39.42	77.40
3	184.24	36.43	80.23
4	210.50	15.46	92.66
5	153.82	27.60	82.06
6	203.84	27.14	86.69
7	182.02	21.90	87.97
RATA-RATA			83.21

c. Waktu Detensi 36 Jam

- Tebal Media 55 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	191.18	38.28	79.98
2	186.56	35.46	80.99
3	475.90	74.89	84.26
4	391.78	46.82	88.05
5	391.78	89.32	77.20
6	563.82	61.38	89.11
7	498.26	47.52	90.46
RATA-RATA			84.29

- Tebal Media 80 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	191.18	20.02	89.53
2	186.56	30.01	83.92
3	475.90	71.28	85.02
4	391.78	56.14	85.67
5	391.78	55.00	85.96
6	563.82	49.59	91.20
7	498.26	72.60	85.43
RATA-RATA			86.68

- Tebal Media 122 cm

Hari	Influen	Effluen	Removal
1	157.30	19.14	87.83
2	185.59	33.18	82.12
3	112.20	15.97	85.76
4	148.90	9.86	93.38
5	129.36	14.65	88.67
6	563.82	24.24	95.70
7	501.51	20.59	95.89
RATA-RATA			89.91

LAMPIRAN B DOKUMENTASI TUGAS AKHIR



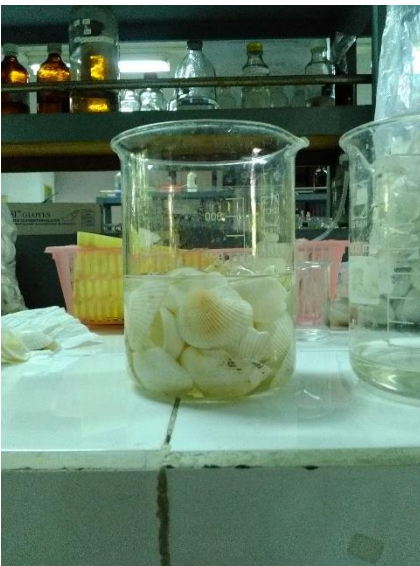
Bak
Penampung
Sementara



Reaktor
Anaerobic
Filter



Media kulit
kerang
yang telah
di ayak



Uji
Porositas
Media Kulit
Kerang

LAMPIRAN C PERHITUNGAN KETEBALAN MEDIA

Diameter reaktor = 5 inch = 12,7 cm
 Tinggi reaktor = 250 cm
 Volume reaktor = $(1/4 \pi d^2) \times \text{tinggi reaktor}$
 = $(1/4 \times 3,14 \times (0,127)^2 \times 2,5$
 = $0,032 \text{ m}^3 = 32 \text{ L}$
 Debit pengolahan = 20 L/hari

Variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT)

- 24 jam → reaktor A
- 30 jam → reaktor B
- 36 jam → reaktor C

Variasi *Organik Loading Rate* (OLR)

- 0,45 kg COD/m³.hari → reaktor 1
- 0,7 kg COD/m³.hari → reaktor 2
- 1 kg COD/m³.hari → reaktor 3

- Volume pengolahan reaktor A = Debit air limbah x HRT
 = 20 L/hari x 24 jam / 24
 = 20 L = 0,020 m³
- Volume pengolahan reaktor B = Debit air limbah x HRT
 = 20 L/hari x 30 jam / 24
 = 25 L = 0,025 m³
- Volume pengolahan reaktor C = Debit air limbah x HRT
 = 20 L/hari x 36 jam / 24
 = 30 L = 0,030 m³
- Volume media reaktor 1
 = $\frac{\text{Debit} \times [\text{COD}]}{\text{OLR}}$
 = $\frac{20 \text{ L/hari} \times 350}{0,45}$
 = 0,0155 m³
- Luas permukaan reaktor = $\frac{1}{4} \pi d^2$
 = $\frac{1}{4} \times 3,14 \times (12,7 \times 10^{-2})^2$
 = 0,0127 m²
- Ketebalan media = Volume media / Luas permukaan reaktor
 = $0,0155 \text{ m}^3 / 0,0127$
 = 1,22 m
 = 122 cm

- Volume media reaktor 2 $= \frac{\text{Debit} \times [\text{COD}]}{\text{OLR}}$
 $= \frac{20 \text{ L/hari} \times 350}{0,7}$
 $= 0,01 \text{ m}^3$
 Luas permukaan reaktor $= \frac{1}{4} \pi d^2$
 $= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (12,7 \times 10^{-2})^2$
 $= 0,0127 \text{ m}^2$
 Ketebalan media = Volume media / Luas permukaan reaktor
 $= 0,01 \text{ m}^3 / 0,0127$
 $= 0,79 \text{ m}$
 $= 79 \text{ cm} \approx 80 \text{ cm}$
- Volume media reaktor 3 $= \frac{\text{Debit} \times [\text{COD}]}{\text{OLR}}$
 $= \frac{20 \text{ L/hari} \times 350}{1}$
 $= 0,007 \text{ m}^3$
 Luas permukaan reaktor $= \frac{1}{4} \pi d^2$
 $= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (12,7 \times 10^{-2})^2$
 $= 0,0127 \text{ m}^2$
 Ketebalan media = Volume media / Luas permukaan reaktor
 $= 0,007 \text{ m}^3 / 0,0127$
 $= 0,55 \text{ m}$
 $= 55 \text{ cm}$

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN HLR DAN HEADLOSS

1. Perhitungan Beban Hidraulik

$$HLR = \frac{Q}{A}$$

Keterangan:

HLR = *Hydraulic Loading Rate* (Volume/luas.waktu)

Q = Debit (Volume/waktu)

A = Luas permukaan reaktor (m²)

Berdasarkan debit dan reaktor yang digunakan dalam penelitian ini,

$$Q = 20 \text{ L/hari} = 0,02 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$A = 0,0127 \text{ m}^2 \quad (\text{diameter reaktor 5 inch} = 12,7 \text{ cm})$$

$$HLR = \frac{0,02}{0,0127} = 1,575 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \cdot \text{hari} < 2,8 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \cdot \text{hari}$$

2. Perhitungan Headloss

Perhitungan headloss menggunakan persamaan Carman-Kozeny, kehilangan tekanan pada media berbutir.

$$h_L = f' \frac{L}{\Psi d} \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \frac{v_a^2}{g}$$

$$f' = 150 \left(\frac{1 - \varepsilon}{N_{Re}} \right) + 1,75$$

$$N_{Re} = \frac{\Psi \cdot d \cdot V a}{\nu}$$

Dengan mengasumsikan sementara, porositas media adalah 0,7 dan faktor kebulatan media adalah 0,8.

- a. Headloss media 138 cm

$$N_{Re} = \frac{\Psi \cdot d \cdot V a}{\nu}$$

$$N_{Re} = \frac{0,8 \cdot 0,03 \cdot \left(\frac{0,02}{0,0127 \cdot 86400} \right)}{0,8039 \cdot 10^{-6}}$$

$$N_{Re} = 0,054$$

$$f' = 150 \left(\frac{1 - \varepsilon}{N_{Re}} \right) + 1,75$$

$$f' = 150 \left(\frac{1 - 0,7}{0,054} \right) + 1,75$$

$$f' = 835,083$$

$$h_L = f' \frac{L}{\Psi d} \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \frac{v_a^2}{g}$$

$$h_L = 835,083 \frac{1,38}{0,7 \cdot 0,03} \left(\frac{1 - 0,7}{0,7^3} \right) \frac{\left(\frac{0,02}{0,0127 \cdot 86400} \right)^2}{9,81}$$

$$h_L = 1,625 \times 10^{-6} \text{ m}$$

b. Headloss media 80 cm

$$N_{Re} = \frac{\Psi \cdot d \cdot Va}{\nu}$$

$$N_{Re} = \frac{0,8 \cdot 0,03 \cdot \left(\frac{0,02}{0,0127 \cdot 86400} \right)}{0,8039 \cdot 10^{-6}}$$

$$N_{Re} = 0,054$$

$$f' = 150 \left(\frac{1 - \varepsilon}{N_{Re}} \right) + 1,75$$

$$f' = 150 \left(\frac{1 - 0,7}{0,054} \right) + 1,75$$

$$f' = 835,083$$

$$h_L = f' \frac{L}{\Psi d} \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \frac{v_a^2}{g}$$

$$h_L = 835,083 \frac{0,8}{0,7 \cdot 0,03} \left(\frac{1 - 0,7}{0,7^3} \right) \frac{\left(\frac{0,02}{0,0127.86400} \right)^2}{9,81}$$

$$h_L = 0,938 \times 10^{-6} \text{ m}$$

c. Headloss media 55 cm

$$N_{Re} = \frac{\Psi \cdot d \cdot V_a}{\nu}$$

$$N_{Re} = \frac{0,8 \cdot 0,03 \cdot \left(\frac{0,02}{0,0127.86400} \right)}{0,8039 \cdot 10^{-6}}$$

$$N_{Re} = 0,054$$

$$f' = 150 \left(\frac{1 - \varepsilon}{N_{Re}} \right) + 1,75$$

$$f' = 150 \left(\frac{1 - 0,7}{0,054} \right) + 1,75$$

$$f' = 835,083$$

$$h_L = f' \frac{L}{\Psi d} \left(\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \frac{v_a^2}{g}$$

$$h_L = 835,083 \frac{0,55}{0,7 \cdot 0,03} \left(\frac{1 - 0,7}{0,7^3} \right) \frac{\left(\frac{0,02}{0,0127.86400} \right)^2}{9,81}$$

$$h_L = 0,645 \times 10^{-6} \text{ m}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN E

ANALISIS STATISTIK

Hasil dari uji *one way* ANOVA yang telah dilakukan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pengaruh tebal media pada waktu detensi yang sama
 - A. Waktu detensi 24 Jam
 - Parameter COD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	574.958	2	287.479	1.825	.190
Within Groups	2835.091	18	157.505		
Total	3410.049	20			

- Parameter TSS

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.579	2	5.290	.068	.934
Within Groups	1390.725	18	77.263		
Total	1401.305	20			

- Parameter BOD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	92.883	2	46.442	.433	.655
Within Groups	1931.795	18	107.322		
Total	2024.678	20			

B. Waktu detensi 30 Jam

- Parameter COD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.026	2	1.513	.016	.984
Within Groups	1659.726	18	92.207		
Total	1662.753	20			

- Parameter TSS

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.026	2	1.513	.016	.984
Within Groups	1659.726	18	92.207		
Total	1662.753	20			

- Parameter BOD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	78.753	2	39.376	.495	.618
Within Groups	1432.803	18	79.600		
Total	1511.556	20			

C. Waktu detensi 36 Jam

- Parameter COD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.210	2	.605	.020	.980
Within Groups	537.796	18	29.878		
Total	539.006	20			

- Parameter TSS

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	42.711	2	21.356	.351	.708
Within Groups	1094.226	18	60.790		
Total	1136.937	20			

- Parameter BOD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	111.161	2	55.580	2.761	.090
Within Groups	362.297	18	20.128		
Total	473.458	20			

2. Pengaruh waktu detensi pada tebal media yang sama

A. Tebal media 55 cm

- Parameter COD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	641.626	2	320.813	2.129	.148
Within Groups	2711.734	18	150.652		
Total	3353.359	20			

- Parameter TSS

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1053.543	2	526.771	6.782	.006
Within Groups	1398.071	18	77.671		
Total	2451.614	20			

- Parameter BOD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	204.746	2	102.373	.906	.422
Within Groups	2033.731	18	112.985		
Total	2238.477	20			

B. Tebal Media 80 cm

- Parameter COD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	143.782	2	71.891	1.274	.304
Within Groups	1015.620	18	56.423		
Total	1159.402	20			

- Parameter TSS

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1353.805	2	676.902	8.699	.002
Within Groups	1400.581	18	77.810		
Total	2754.386	20			

- Parameter BOD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	217.681	2	108.840	1.926	.175
Within Groups	1017.116	18	56.506		
Total	1234.796	20			

C. Tebal Media 122 cm

- Parameter COD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	148.638	2	74.319	1.025	.379
Within Groups	1305.726	18	72.540		
Total	1454.365	20			

- Parameter TSS

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	823.500	2	411.750	5.206	.016
Within Groups	1423.547	18	79.086		
Total	2247.047	20			

- Parameter BOD

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	823.500	2	411.750	5.206	.016
Within Groups	1423.547	18	79.086		
Total	2247.047	20			

LAMPIRAN F

METODE ANALISIS PARAMETER UJI

I. PROSEDUR LABORATORIUM ANALISIS BOD

A. Prinsip

Sejumlah contoh uji ditambahkan ke dalam larutan pengencer jenuh oksigen yang telah ditambah larutan nutrisi dan bibit mikroba, kemudian diinkubasi dalam ruang gelap pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari. Nilai BOD dihitung berdasarkan selisih konsentrasi oksigen terlarut 0 (nol) hari dan 5 (lima) hari. Bahan kontrol standar dalam uji BOD ini, digunakan larutan glukosa-asam glutamat.

B. Bahan dan Peralatan

1. Larutan Buffer Fosfat
2. Larutan Magnesium Sulfat
3. Larutan Kalium Klorida
4. Larutan Feri Klorida
5. Bubuk Inhibitor Nitrifikasi
6. Benih atau inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gr diencerkan dengan 100 mL air
7. Larutan Mangan Sulfat
8. Larutan Pereaksi Oksigen
9. Indikator Amilum 0,5%
10. Asam Sulfat pekat
11. Larutan Standart Natrium Tiosulfat 0,0125 N
12. Aerator untuk mengaerasi air pengencer
13. Drum atau ember untuk air pengencer
14. Botol winkler 300 mL 2 buah
15. Botol winkler 150 mL 2 buah
16. Inkubator dengan suhu 20°C
17. Labu takar 500 mL 1 buah
18. Pipet 10 mL, 5 mL
19. Gelas ukur 100 mL 1 buah
20. Buret 25 mL atau 50 mL
21. Erlenmeyer 250 mL 1 buah

C. Prosedur pengujian

1. Pembuatan Air Pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya:

- a. Tambahkan 1 mL larutan Buffer Fosfat per liter air
- b. Tambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter air
- c. Tambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter air
- d. Tambahkan 1 mL larutan Feri Klorida per liter air
- e. Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
- f. Aerasi minimal selama 2 jam

2. Prosedur BOD

a. Menentukan Pengenceran

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka $KMnO_4$ sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{3 \text{ atau } 5}$$

b. Prosedur BOD dengan winkler

- Siapkan 1 buah labu takar 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
- Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
- Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- Masukkan kedua botol winkler 300 mL ke dalam inkubator $20^{\circ}C$ selama 5 hari.

- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat
 - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
 - Tambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan
 - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
 - Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda
 - Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium Tiosulfat hingga warna biru hilang
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.

D. Perhitungan

Hitung Oksigen Terlarut dan BOD dengan rumus berikut:

$$BOD_5^{20} (mg/l) = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

Dimana:

- X_0 = oksigen terlarut sampel pada $t = 0$
- X_5 = oksigen terlarut sampel pada $t = 5$
- B_0 = oksigen terlarut blanko pada $t = 0$
- B_5 = oksigen terlarut blanko pada $t = 5$
- P = derajat pengenceran

II. Prosedur Laboratorium Analisis COD

A. Prinsip

KOK (*Chemical Oxygen Demand* = COD) adalah jumlah oksidan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ yang bereaksi dengan contoh uji dan dinyatakan sebagai mg O_2 untuk tiap 1000 mL contoh uji.

A. Bahan dan Alat

1. Larutan pereaksi asam sulfat
2. Larutan baku kalium dikromat 0,01 N
3. Larutan indikator ferroin
4. Larutan baku Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 M
5. *Digestion vessel* dengan kapasitas 10 mL
6. Pemanas dengan lubang-lubang penyangga tabung (*heating block*)
7. Mikroburet
8. Labu ukur 100 mL dan 1000 mL
9. Pipet volumetric 5 mL; 10 mL dan 25 mL
10. Pipet ukur 5 mL; 10 mL dan 25 mL
11. Erlenmeyer
12. Gelas piala
13. *Magnetic stirrer*
14. Timbangan analitik

B. Pembuatan Larutan

- a. Larutan pereaksi asam sulfat
Larutkan 10,12 gram kristal Ag_2SO_4 ke dalam 1000 mL H_2SO_4 pekat
- b. Larutan baku kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,1 N
 1. Larutkan 4,903 gram $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang telah dikeringkan pada suhu 150°C selama 2 jam ke dalam 500 mL aquades.
 2. Tambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat
 3. Tambahkan 33,3 gram HgSO_4
 4. Larutkan dan dinginkan
 5. Encerkan hingga 1000 mL
- c. Larutan indikator ferroin
Larutkan 1,485 gram 1,10-phenantrolin monohidrat dan 695 mg $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

d. Larutan FAS

1. Larutkan 19,6 gram $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 300 mL aquades
2. Tambahkan 20 mL H_2SO_4 pekat
3. Dinginkan dan encerkan hingga 1000 mL

C. Prosedur COD

1. Masukkan sampel 2,5 mL ke dalam *digestion vessel*
2. Tambahkan kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) sebanyak 1,5 mL
3. Tambahkan larutan pereaksi asam sulfat sebanyak 3,5 mL
4. Tutup tabung dan kocok perlahan sampai homogeny
5. Letakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C , lakukan *digestion* selama 2 jam
6. Dinginkan perlahan-lahan sampel yang sudah direfluks sampai suhu ruang. Saat pendinginan sesekali tutup sampel dibuka untuk mencegah adanya tekanan gas
7. Pindahkan sampel dari tabung ke dalam erlenmeyer untuk titrasi
8. Tambahkan indikator ferroin 0,05 mL – 0,1 mL atau 1 – 2 tetes dan aduk dengan pengaduk magnetic sambil dititrasi dengan larutan baku FAS 0,05 M sampai terjadi perubahan warna yang jelas dari hijau-biru menjadi coklat-kemerahan. Catat volume larutan FAS yang digunakan
9. Lakukan hal yang sama pada blanko

$$\text{COD (mgO}_2\text{/L)} = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{\text{mL sampel}}$$

Keterangan:

A = volume larutan FAS untuk blanko (mL)

B = volume larutan FAS untuk sampel (mL)

M = Molaritas larutan FAS

8000 = berat miliequivalent oksigen x 1000 mL/L

III. PROSEDUR LABORATORIUM ANALISIS TSS

A. Prinsip

Residu padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel 1,5 μm atau lebih besar dari partikel koloid. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 105°C. Kenaikan berat saringan mewakili padatan tersuspensi total.

B. Alat dan Bahan

1. Kertas saring Whatman Grade 934 AH dengan ukuran pori (*Particle Retention*) 1,5 μm
2. Air suling
3. Desikator
4. Oven dengan suhu operasi 103°C hingga 105°C
5. Timbangan analitik
6. Pengaduk magnetic
7. Pipet volum
8. Gelas ukur
9. Cawan aluminium
10. Cawan porselen
11. Penjepit
12. Pompa vacuum

C. Persiapan Uji

Persiapan kertas saring atau cawan porselen

1. Letakkan kertas saring pada peralatan filtrasi
2. Pasang vakum dan wadah pencuci dengan air suling berlebih 20 mL.
3. Lakukan penyedotan untuk menghilangkan semua sisa air, matikan vakum dan hentikan pencucian.
4. Pindahkan kertas saring dari peralatan filtrasi ke cawan porselen
5. Keringkan dalam oven 105°C selama 1 jam
6. Dinginkan dalam desikator kemudian timbang
7. Ulangi langkah diatas hingga diperoleh berat konstan atau perubahan berat lebih kecil dari 4% dari penimbangan sebelumnya atau lebih kecil dari 0,5 mg

D. Prosedur TSS

1. Lakukan penyaringan dengan peralatan vakum. Basahi saringan dengan sedikit air suling.
2. Aduk sampel dengan pengaduk magnetic agar homogen
3. Cuci kertas saring dengan air suling, biarkan kering sempurna dan lanjutkan penyaringan dengan vakum selama 3 menit agar diperoleh penyaringan sempurna
4. Pindahkan kertas saring secara hati-hati dari peralatan penyaring ke cawan porselen
5. Keringkan dalam oven setidaknya selama 1 jam
6. Dinginkan dalam desikator kemudian timbang
7. Ulangin tahapan pengeringan, pendinginan dalam desikator dan lakukan penimbangan hingga diperoleh berat konstan

E. Perhitungan TSS

$$mg\ TSS\ per\ liter = \frac{(A - B) \times 1000}{volume\ sampel}$$

Keterangan:

A = berat kertas saring + residu kering (mg)

B = berat kertas saring (mg)

IV. PROSEDUR LABORATORIUM ANALISIS pH

A. Prinsip

Metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara potensiometri / elektrometri dengan menggunakan pH meter.

B. Bahan dan Alat

1. pH meter
2. gelas piala 250 mL
3. kertas tissue

C. Persiapan pengujian

1. Lakukan kalibrasi alat pH-meter dengan larutan penyangga sesuai instruksi kerja alat setiap kali melakukan pengukuran

2. Untuk sampel yang memiliki suhu tinggi, kondisikan sampel samai suhu kamar

D. Prosedur

1. Keringkan dengan kerts tisu selanjutnya bilas elektroda dengan air suling
2. Bilas elektorda dengan sampel
3. Celupkan elektroda ke dalam sampel sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap
4. Catat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter

BIOGRAFI PENULIS



Nama Lengkap dari penulis adalah Risma Aulia Rokhmadhoni. Lahir di Serang, 31 Januari 1997. Penulis merupakan anak ke-empat dan terakhir dari empat bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh adalah TK Bina Budi, SD YPWKS IV, SMPN 1 Cilegon dan SMAN 2 Krakatau Steel. Penulis kemudian melanjutkan studi S1 di Surabaya, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pada masa remaja, penulis aktif mengikuti perlombaan seni seperti Paduan Suara hingga ke tingkat Provinsi. Saat menempuh studi S1, penulis juga aktif mengikuti berbagai kepanitiaan di HMTL ITS dan BEM FTSP di tahun pertama. Tahun 2015-2017, penulis aktif sebagai Bendahara Departemen Sosial Masyarakat, HMTL ITS. Pada Tahun 2017, penulis melaksanakan Kerja Praktik di PT. Chandra Asri Petrochemical, tbk., Cilegon Banten di Departemen Utilitas. Penulis juga pernah menjadi Asisten Laboratorium untuk mata kuliah Kimia Lingkungan dan Teknik Analisis Pencemaran Lingkungan semasa menempuh studi S1. Penulis berharap segala bentuk komunikasi baik kritk, saran dan diskusi yang ingin disampaikan kepada penulis terkait Tugas Akhir ini dapat disampaikan langsung via email di rismaaulia97@gmail.com